

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO – CTC
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL – ECV
LUCAS AGUIAR PRUDÊNCIO

**Análise de Viabilidade da Exploração de Jazidas de Arenito para
a produção de Agregado miúdo para uso em Concretos de Cimento
Portland**

Trabalho de Conclusão apresentado ao Curso de Engenharia
Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.
Orientadora: Prof^a. Dr^a. Janaíde Cavalcante Rocha

Florianópolis, 2018

Lucas Aguiar Prudêncio


**ANÁLISE DE VIABILIDADE DA EXPLORAÇÃO DE JAZIDAS DE ARENITO
PARA PRODUÇÃO DE AGREGADO MIÚDO PARA USO EM
CONCRETOS DE CIMENTO PORTLAND**

Este Trabalho foi julgado adequado para obtenção do Título de Engenheiro Civil e aprovado em sua forma final pelo Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 23 de novembro de 2018.

Prof.^a Luciana Rohde
Coordenadora do Curso

Banca Examinadora:


Prof.^a Janilde Cavalcante Rocha, Dr.^a
Orientadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Alexandre Lima de Oliveira, Dr.
Instituto Federal de Santa Catarina

Eng. Cleiton Anderson Coelho, M.Sc.
Max Mohr

Prof. Fernando Pelisser, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer todas as pessoas que estiveram envolvidas no desenvolvimento deste trabalho, tanto diretamente quanto indiretamente.

Primeiramente, à Professora Janaíde Cavalcante Rocha, pelo seu auxílio, paciência, amizade, e conversas esclarecedoras durante o período de orientação. Também não poderia deixar um agradecimento em especial ao Professor e Pai Luiz Roberto Prudêncio Jr., pelos valores pessoais passados ao longo de toda minha vida e por todo conhecimento passado ao longo de toda minha graduação.

À minha mãe, Regina, e à minha irmã, Ana Paula, por todo carinho, cobrança e incentivo que ganhei, essencial para eu ter me tornado a pessoa que sou hoje.

À Maíra e Meg, pelo apoio, amor e momentos de diversão e descontração diários. Deixaram minha vida mais leve durante este processo tão estressante e desgastante.

Aos colegas do Gtec e agregados, Paulo, Lucas e Sakata, e ao pessoal do Grupo Dalba, Maurício, Dejoni, Rafael e Bianca, por todo suporte e troca de informações durante a etapa experimental da pesquisa. O trabalho não existiria sem a força de trabalho de vocês.

Aos amigos, pelas brincadeiras e momentos de diversão, essenciais para dar o equilíbrio necessário na minha vida.

Aos membros da Los Mustachos, por através da música, me darem inspiração e motivação para concluir esta etapa de minha vida.

À Dona Teresinha, Seu Ivalmir e Lola, pela hospitalidade em Blumenau, onde estive enquanto escrevi grande parte deste trabalho.

Ao Engenheiro Denis e Engenheiro Cleiton, pela amizade e por todo conhecimento proporcionado, contribuindo valor para este trabalho e para minha futura vida profissional.

E por fim, aos membros da banca, pelo tempo cedido ao aceitarem avaliar este trabalho.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Faixas granulométricas recomendadas para agregados miúdos pela NBR 7211:2009.....	12
Figura 2 - Desmonte da frente de lavra por meio de jatos d'água (Fonte Anepac).....	15
Figura 3 - Classificador Espiral.....	15
Figura 4 - Ciclones	16
Figura 5 - Rodas d'água ou rodas de caçamba.....	17
Figura 6 - Fluxograma da Metodologia.....	18
Figura 7 - Jazida Inácio Martins.....	29
Figura 8 - Resistência à compressão dos concretos de diferentes traços aos 7 dias variando-se o tipo de aditivo redutor de água.....	32
Figura 9 - Resistência à compressão dos concretos de diferentes traços aos 28 dias variando-se o tipo de aditivo redutor de água.....	32
Figura 10 - Jazida de Ibema.....	33
Figura 11 - Relação a/c das amostras ensaiadas em argamassa e em concreto.	37
Figura 12 - Influência da composição de agregado miúdo e teor de argamassa nas misturas.....	38
Figura 13 - Influência do aditivo em uma mistura de concreto na etapa de determinação do melhor aditivo.....	38
Figura 14 - Correlação entre características dos agregados e desempenho no estado endurecido e Influência do mitigadores de argila nas areias em argamassa.	39
Figura 15 - (A.1) Caracterização da areia branca após lavagem em betoneira (primeira lavagem)	42
Figura 16 - (A.2) Caracterização da areia vermelha após lavagem em betoneira (primeira lavagem)	43
Figura 17 - (A.3) Caracterização da areia Natural de Guaíra.....	43
Figura 18 - (A.4) Caracterização da areia de britagem de Beltrão (granulometria original)	44
Figura 19 - (A.5) Caracterização da areia de britagem de Beltrão com o teor de material retido na # 2,4mm corrigido para 20%.....	44
Figura 20 - (A.6) Caracterização da areia natural de Guaíra usada na argamassa de referência	45
Figura 21 - (A.7) Caracterização da areia de britagem utilizada (original de Beltrão sem o material retido na # 2,4mm.....	45
Figura 22 - (A.8) Caracterização da areia branca de arenito do areal de Inácio Martins – lavagem inicial em betoneira.....	46
Figura 23 - (A.9) Caracterização da areia branca de arenito do areal de Inácio Martins – primeira lavagem.....	46
Figura 24 - (A.10) Caracterização da areia branca de arenito do areal de Inácio Martins – segunda lavagem.....	47
Figura 25 - (A.11) Caracterização da areia rosa de arenito do areal de Inácio Martins – lavagem inicial em betoneira.....	47

Figura 26 - (A.12) Caracterização da areia rosa de arenito do areal de Inácio Martins – primeira lavagem.....	48
Figura 27 - (A.13) Caracterização da areia rosa de arenito do areal de Inácio Martins – segunda lavagem.....	48
Figura 28 - (A.14) Caracterização da areia branca de arenito do areal de Inácio Martins – primeira produção piloto	49
Figura 29 - (A.15) Caracterização da areia branca de arenito do areal da Hobby.....	49
Figura 30 - (A.16) Resultados de resistência à compressão aos 7 dias	53
Figura 31 - (A.17) Resultados de resistência à compressão aos 28 dias	53
Figura 32 - (A.18) Resistência à compressão dos concretos de diferentes traços aos 7 dias	62
Figura 33 - (A.19) Resistência à compressão dos concretos de diferentes traços aos 28 dias	63
Figura 34 - (A.20) Caracterização da Areia Rosa trazida de São Paulo para testes comparativos em concretos e argamassas	64
Figura 35 - (A.21) Caracterização da Areia do Albardão trazida da Grande Florianópolis para testes comparativos em concretos e argamassas.....	65
Figura 36 - (A.22) Resistência à compressão dos concretos de diferentes traços aos 7 dias variando-se o tipo de areia.....	68
Figura 37 - (A.23) Resistência à compressão dos concretos de diferentes traços aos 28 dias variando-se o tipo de areia.....	68
Figura 38 - (A.24) Resistência à compressão dos concretos de diferentes traços aos 7 dias variando-se o tipo de aditivo redutor de água.....	69
Figura 39 - (A.25) Resistência à compressão dos concretos de diferentes traços aos 28 dias variando-se o tipo de aditivo redutor de água.....	69
Figura 40 - (A.26) Resistência à compressão dos concretos a 7 e 28 dias em concreto .	76
Figura 41 - (B.1) Fluidez e teor de ar incorporado para diferentes teores de aditivo a base de naftaleno. Ensaio em pastas de a/c=0,35 confeccionadas com cimento CP IV-RS.	79
Figura 42 - (B.2) Fluidez inicial e perda de fluidez ao longo do tempo para diferentes aditivos e teores.	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Sequência de peneiras da série normal e intermediária (NBR 7211/2009).....	8
Tabela 2 - Limites granulométricos de agregado miúdo (NBR 7211:2009)	11
Tabela 3 - Síntese da Caracterização das amostras de areias utilizadas no Estudo.....	28
Tabela 4 - Síntese dos resultados obtidos nos ensaios em argamassa na Etapa Preliminar.	30
Tabela 5 - Síntese dos resultados obtidos em betoneira para desenvolvimento de traço.	31
Tabela 6 - Síntese dos resultados obtidos em betoneira para reforço de comparação entre areias.....	32
Tabela 7 - Síntese dos resultados obtidos no ensaio comparativo em argamassa das novas amostras de Inácio Martins.....	33
Tabela 8 - Síntese dos resultados obtidos no estudo final em concreto.	34
Tabela 9 - Síntese dos resultados obtidos no estudo final em argamassa.....	35
Tabela 10 - (A1) Traço de referência (fck 25MPa) de Francisco Beltrão – areia de Guaíra	50
Tabela 11 - (A2) Traço de referência (fck 25MPa) de Francisco Beltrão – areia de britagem com corte na # 2,4mm e areia de Guaíra.....	51
Tabela 12 - (A3) Traço com areia de ciclone branca lavada em laboratório (40% em volume do agregado miúdo).	52
Tabela 13 - (A4) Traço com areia de ciclone vermelha lavada em laboratório (40% em volume do agregado miúdo).	52
Tabela 14 - (A5) Proporcionamento da argamassa 1 (referência com areia natural de Guaíra), parâmetros de trabalhabilidade e massa específica	54
Tabela 15 - (A6) Proporcionamento da argamassa 2 (areia fina branca Inácio Martins – lavagem inicial em betoneira), parâmetros de trabalhabilidade e massa específica.....	55
Tabela 16 - (A7) Proporcionamento da argamassa 3 (areia fina branca Inácio Martins – Primeira lavagem), parâmetros de trabalhabilidade e massa específica.....	55
Tabela 17 - (A8) Proporcionamento da argamassa 4 (areia fina branca Inácio Martins – Segunda lavagem), parâmetros de trabalhabilidade e massa específica.....	56
Tabela 18 - (A9) Proporcionamento da argamassa 5 (areia fina rosa Inácio Martins – Lavagem inicial em betoneira), parâmetros de trabalhabilidade e massa específica	56
Tabela 19 - (A10) Proporcionamento da argamassa 6 (areia fina rosa Inácio Martins – Primeira lavagem), parâmetros de trabalhabilidade e massa específica.....	57
Tabela 20 - (A11) Proporcionamento da argamassa 7 (areia fina rosa Inácio Martins – Segunda lavagem), parâmetros de trabalhabilidade e massa específica.....	57
Tabela 21 - (A12) Proporcionamento da argamassa 8 (areia final branca Inácio Martins – Primeira produção piloto), parâmetros de trabalhabilidade e massa específica	58
Tabela 22 - (A13) Proporcionamento da argamassa 9 (referência com areia de ciclone da Hobby), parâmetros de trabalhabilidade e massa específica	58
Tabela 23 - (A14) Resultados dos ensaios de azul de metileno	59

Tabela 24 - (A15) Composição do traço de referência $f_{ck}=25\text{MPa}$, abatimento $12\pm 2\text{cm}$, Britas 0 e 1: composição real levando em conta a água efetivamente empregada e a massa específica – indicadores de trabalhabilidade	59
Tabela 25 - (A16) Composição do traço contendo areia branca de ciclone da produção piloto de novembro de 2017 (alfa volumétrico igual ao do concreto de referência e % volumétrico de 50% da areia de ciclone em relação ao agregado miúdo) $f_{ck}=25\text{MPa}$, abatimento 12 ± 2	60
Tabela 26 - (A17) Composição do traço contendo areia branca de ciclone da produção piloto de novembro de 2017 (alfa volumétrico igual ao do concreto de referência e % volumétrico de 40% da areia de ciclone em relação ao agregado miúdo) $f_{ck}=25\text{MPa}$, abatimento 12 ± 2	60
Tabela 27 - (A18) Composição do traço contendo areia branca de ciclone da produção piloto de novembro de 2017 (alfa volumétrico igual ao do concreto de referência e % volumétrico de 30% da areia de ciclone em relação ao agregado miúdo) $f_{ck}=25\text{MPa}$, abatimento 12 ± 2	60
Tabela 28 - (A19) Composição do traço contendo areia branca de ciclone da produção piloto de novembro de 2017 (alfa volumétrico igual a 52% e % volumétrico de 50% da areia de ciclone em relação ao agregado miúdo) $f_{ck}=25\text{MPa}$, abatimento $12\pm 2\text{cm}$, Britas 0 e 1: compo	61
Tabela 29 - (A20) Composição do traço contendo areia branca de ciclone da produção piloto de novembro de 2017 (alfa volumétrico igual a 52% e % volumétrico de 40% da areia de ciclone em relação ao agregado miúdo) $f_{ck}=25\text{MPa}$, abatimento $12\pm 2\text{cm}$, Britas 0 e 1: compo	61
Tabela 30 - (A21) Composição do traço contendo areia branca de ciclone da produção piloto de novembro de 2017 (alfa volumétrico igual a 52% e % volumétrico de 30% da areia de ciclone em relação ao agregado miúdo) $f_{ck}=25\text{MPa}$, abatimento $12\pm 2\text{cm}$, Britas 0 e 1: compo	61
Tabela 31 - (A22) Composição do traço contendo areia de ciclone da Hobby da produção piloto de novembro de 2017 (alfa volumétrico igual a 52% e % volumétrico de 40% da areia Hobby em relação ao agregado miúdo) $f_{ck}=25\text{MPa}$, abatimento $12\pm 2\text{cm}$, Britas 0 e 1.	62
Tabela 32 - (A23) Composição do traço de referência $f_{ck}=25\text{MPa}$, abatimento $12\pm 2\text{cm}$, Britas 0 e 1: composição real levando em conta a água efetivamente empregada e a massa específica – indicadores de trabalhabilidade - aditivo empregado: PN 786 SA.....	65
Tabela 33 - (A24) Composição do traço contendo areia branca de ciclone da produção piloto de novembro de 2017 (alfa volumétrico igual a 52% e % volumétrico de 50% da areia de ciclone em relação ao agregado miúdo) $f_{ck}=25\text{MPa}$, abatimento $12\pm 2\text{cm}$, Britas 0 e 1: compo	66
Tabela 34 - (A25) Composição do traço contendo areia rosa de São Paulo (alfa volumétrico igual a 52% e % volumétrico de 50% da areia de ciclone em relação ao agregado miúdo) $f_{ck}=25\text{MPa}$, abatimento $12\pm 2\text{cm}$, Britas 0 e 1: composição real levando em conta a água efetivamente empregada e a massa específica – indicadores de trabalhabilidade - aditivo empregado: PN 786 SA.....	66
Tabela 35 - (A26) Composição do traço contendo areia fina do Albardão (alfa volumétrico igual a 52% e % volumétrico de 50% da areia de ciclone em relação ao agregado miúdo) $f_{ck}=25\text{MPa}$, abatimento $12\pm 2\text{cm}$, Britas 0 e 1: composição real levando em conta a água	

efetivamente empregada e a massa específica – indicadores de trabalhabilidade - aditivo empregado: PN 786 SA	66
Tabela 36 - (A27) Composição do traço contendo areia branca de ciclone da produção piloto de novembro de 2017 com teor de material pulverulento corrigido para 1,82% (alfa volumétrico igual a 52% e % volumétrico de 40% da areia de ciclone em relação ao agregado miúdo) fck=25MPa, abatimento 12±2cm, Britas 0 e 1: composição real levando em conta a água efetivamente empregada e a massa específica – indicadores de trabalhabilidade - aditivo empregado: PN 786 SA	66
Tabela 37 - (A28) Composição do traço contendo areia branca de ciclone da produção piloto de novembro de 2017 (alfa volumétrico igual a 52% e % volumétrico de 40% da areia de ciclone em relação ao agregado miúdo) fck=25MPa, abatimento 12±2cm, Britas 0 e 1: composição real levando em conta a água efetivamente empregada e a massa específica – indicadores de trabalhabilidade – aditivo empregado: FK 320	67
Tabela 38 - (A29) Composição do traço contendo areia branca de ciclone da produção piloto de novembro de 2017 (alfa volumétrico igual a 52% e % volumétrico de 40% da areia de ciclone em relação ao agregado miúdo) fck=25MPa, abatimento 12±2cm, Britas 0 e 1: composição real levando em conta a água efetivamente empregada e a massa específica – indicadores de trabalhabilidade – aditivo empregado: R 200	67
Tabela 39 - (A30) Composição do traço contendo areia branca de ciclone da produção piloto de novembro de 2017 (alfa volumétrico igual a 52% e % volumétrico de 40% da areia de ciclone em relação ao agregado miúdo) fck=25MPa, abatimento 12±2cm, Britas 0 e 1: composição real levando em conta a água efetivamente empregada e a massa específica – indicadores de trabalhabilidade – aditivo empregado: 43ST4	68
Tabela 40 - (A31) Composição granulométrica, massa específica e material pulverulento: Amostra 1	70
Tabela 41 - (A32) Composição granulométrica, massa específica e material pulverulento: Amostra 2	70
Tabela 42 - (A33) Composição granulométrica, massa específica e material pulverulento: Amostra 3	71
Tabela 43 - (A34) Composição granulométrica, massa específica e material pulverulento: Amostra 4	71
Tabela 44 - (A35) Composição granulométrica, massa específica e material pulverulento: Amostra 5	71
Tabela 45 - (A36) Composição granulométrica, massa específica e material pulverulento: Amostra 6	72
Tabela 46 - (A37) Composição granulométrica, massa específica e material pulverulento: Amostra 7	72
Tabela 47 - (A38) Composição do traço 16 (Areia de Ibema – amostra 1) abatimento 12±2cm, Britas 0 e 1: composição real levando em conta a água efetivamente empregada e a massa específica – indicadores de trabalhabilidade	73
Tabela 48 - (A39) Composição do traço 17 (Areia de Ibema – amostra 2) abatimento 12±2cm, Britas 0 e 1: composição real levando em conta a água efetivamente empregada e a massa específica – indicadores de trabalhabilidade	73
Tabela 49 - (A40) Composição do traço 18 (Areia de Ibema – amostra 3) abatimento 12±2cm, Britas 0 e 1: composição real levando em conta a água efetivamente empregada e a massa específica – indicadores de trabalhabilidade	73

Tabela 50 - (A41) Composição do traço 19 (Areia de Ibema – amostra 4) abatimento 12±2cm, Britas 0 e 1: composição real levando em conta a água efetivamente empregada e a massa específica – indicadores de trabalhabilidade	74
Tabela 51 - (A42) Composição do traço 20 (Areia de Ibema – amostra 5) abatimento 12±2cm, Britas 0 e 1: composição real levando em conta a água efetivamente empregada e a massa específica – indicadores de trabalhabilidade	74
Tabela 52 - (A43) Composição do traço 21 (Areia Hobby) abatimento 12±2cm, Britas 0 e 1: composição real levando em conta a água efetivamente empregada e a massa específica – indicadores de trabalhabilidade	74
Tabela 53 - (A44) Composição do traço 22 (Areia de Ibema – amostra 1 com uso do mitigador Clarena) abatimento 12±2cm, Britas 0 e 1: composição real levando em conta a água efetivamente empregada e a massa específica – indicadores de trabalhabilidade	75
Tabela 54 - (A45) Composição do traço 23 (Areia de Ibema – amostra 2 com uso do mitigador Clarena) abatimento 12±2cm, Britas 0 e 1: composição real levando em conta a água efetivamente empregada e a massa específica – indicadores de trabalhabilidade	75
Tabela 55 - (A46) Composição do traço 24 (Areia de Ibema – amostra 6) abatimento 12±2cm, Britas 0 e 1: composição real levando em conta a água efetivamente empregada e a massa específica – indicadores de trabalhabilidade	75
Tabela 56 - (A47) Composição do traço 25 (Areia de Ibema – amostra 7) abatimento 12±2cm, Britas 0 e 1: composição real levando em conta a água efetivamente empregada e a massa específica – indicadores de trabalhabilidade	76
Tabela 57 - (B3) Traço e quantidade dos materiais para estudos comparativos em argamassa.....	77

Sumário

1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	3
2.1 Geral	3
2.2 Específicos	3
2 CONCRETO.....	4
3.1 Propriedades no Estado Fresco.....	4
3.1.1 Trabalhabilidade.....	4
2.2 Propriedades no Estado Endurecido	5
3.2.1 Resistência à Compressão	5
4 AGREGADO.....	7
4.1 Características dos Agregados	7
4.1.1 Massa Específica Aparente.....	7
4.1.2 Massa Unitária	7
4.1.3 Composição Granulométrica.....	8
4.1.4 Módulo de Finura	9
4.1.5 Substâncias Nocivas nos Agregados(mudar para claudio sbrighi Neto,pg256)	9
4.2 Critérios de Normas	10
4.3 Considerações sobre as especificações normativas	11
5 AREIA DE ARENITO	14
5.1 Geologia	14
5.2 Produção de Areia de Arenito	14
6 METODOLOGIA.....	18
6.1 Extração das Amostras e Preparo dos Materiais	19
6.2 Escolha dos Materiais Referência e Caracterização dos Materiais	19
6.3 Desenvolvimento dos Traços	20
6.4 Ensaio Comparativos de Consistência, Manutenção DA CONSISTÊNCIA e Massa Específica	20
6.4.1 Procedimento de ensaio	21
6.4.2 Determinação do teor ótimo de argamassa na mistura	23
6.4.3 Determinação da proporção ótima na composição do agregado miúdo na mistura	23
6.4.4 Determinação do aditivo de melhor desempenho	23
6.5 Ensaio Comparativo de Resistência à Compressão em Argamassa e Concreto.....	24
6.6 Ensaio Comparativo de Composição Química.....	24
6.7 Análise dos Resultados para Avaliação da Viabilidade Técnica	25

7 ESTUDO DE CASO	27
7.1 Apresentação	27
7.2 Materiais	27
7.2.1 Extração e Preparo das amostras de areia de arenito e Caracterização dos Materiais	27
7.2.2 Desenvolvimento dos Traços	28
7.3 Ensaios Comparativos	29
7.3.1 Jazida de Inácio Martins	29
7.3.2 Jazida de Ibema	33
7.4.3 Análise Geral dos Resultados	33
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	37
ANEXO A: Caracterizações e Resultados	40
A1 Resultados de Inácio Martins.....	42
A1.1 Estudo Preliminar.....	42
A1.2 Estudo de Determinação da proporção ótima na composição do agregado miúdo na mistura	59
A1.3 Estudo Comparativo entre outras areias referência e de Determinação do aditivo de melhor desempenho	64
A2 Resultados de Ibema.....	70
A2.1 Caracterização dos materiais	70
A2.2 Ensaios Comparativos	72
ANEXO B: Método de seleção e desenvolvimento de composição de agregados miúdos.....	77
B1 Procedimento para avaliação de agregados e composições	77
B1.1 Comparação entre agregados	77
B1.2 Avaliação de composições de agregados	78
B2 Procedimento para avaliação de diferentes aditivos ou diferentes teores.....	79

1 INTRODUÇÃO

É inegável a importância do concreto para Construção Civil nos dias de hoje. De acordo com Isaia (2011), a versatilidade e as vantagens do concreto (disponibilidade de matéria prima, facilidade de execução e durabilidade) lhe conferem o segundo lugar entre os materiais mais consumidos pelo homem, somente ultrapassado pela água. Representa o dobro da soma da produção mundial de todos os demais materiais de construção, equivalendo a um consumo próximo de 3,0 toneladas por hab./ano (previsão 2010). A razão desse consumo está na relação qualidade/custo, pois nenhum material estrutural oferece tais propriedades a custo tão competitivo.

Todavia, para o material concreto ter um custo tão competitivo, é essencial a busca pela otimização do traço. Prioritariamente, a diminuição do consumo de cimento é o primeiro fator a ser trabalhado, já que o mesmo é o insumo mais custoso, além de - entre todos insumos do concreto - ter o maior impacto ambiental na sua produção. No entanto, para alcançar esta diminuição, é necessário analisar alguns fatores e, se necessário, modificá-los até atender as especificações técnicas necessárias a um preço competitivo no mercado atual. Inúmeros fatores podem contribuir no resultado final, portanto vale ressaltar os com maiores probabilidades de causarem uma grande mudança na otimização do traço, como – a qualidade e tipo do cimento, o uso do aditivo com melhor desempenho/custo e a granulometria, forma e textura dos agregados.

Hoje, tanto a Indústria Cimenteira quanto a de Aditivos, devido ao alto valor agregado dos seus produtos dentro da Construção Civil, alcançaram um padrão de desenvolvimento e controle tecnológico onde não há margens para grandes variações de desempenho e muito menos para falta de qualidade. Portanto, a escolha de um tipo de cimento e aditivo acaba sendo muito mais determinante em questão de atender aos requisitos técnicos pontuais para diferentes situações de obra (Durabilidade, Classe de Agressividade, Período de Pega e Cura, Dimensões dos Elementos Concretados, etc) do que, de fato, pela questão econômica.

Em relação à seleção dos agregados, o desenvolvimento e a boa qualidade do insumo acabam por ter maior relevância do que os outros fatores para o resultado final de um produto de boa relação qualidade/custo. Porém, devido à maior área de superfície e maior teor de pulverulento, o agregado miúdo acaba por ser um insumo mais determinante do que o agregado graúdo para a otimização do traço. Suas propriedades físicas e composição mineralógica influenciam na trabalhabilidade do concreto (demanda de água para uma dada consistência e na eficiência do aditivo na mistura) podendo assim afetar a relação água/cimento consequentemente influenciando na quantidade de cimento necessária a se utilizar no desenvolvimento de um traço, afim de se atingir uma determinada resistência à compressão e abatimento previstos em projeto.

Em uma análise mais pontual da situação da Região Sul do Brasil, tem-se informações que, para baratear o custo final e ainda manter o desempenho técnico necessário do concreto, muitas Concreteiras do litoral Catarinense utilizam em seus traços uma composição de areia natural fina e areia de britagem como agregado miúdo. Apesar

das areias de britagem normalmente possuem um teor de pulverulento mais alto que de areias naturais e terem uma forma de grão não tão arredonda e textura áspera (gerando mais área de superfície para adsorção de água e atrito, acarretando em perda de trabalhabilidade), sua composição junto à areia natural fina resulta em um agregado miúdo com desempenho satisfatório e com benefícios econômicos, haja vista o preço de areias de britagem ser – na grande maioria dos casos – menor que o de areais naturais. Porém, isto só é viável devido a abundância de produtores de areia natural fina para concreto nas regiões litorâneas.

Em regiões como interior do Paraná e Santa Catarina, devido a formação geológica ser proveniente de derrame basáltico, há uma predominância de solo argiloso, dificultando para as Concreteiras da região, que hoje são obrigadas a comprar agregado miúdo com valores muito acima da média do mercado devido ao alto valor do frete. Logo, nestas regiões onde jazidas de arenito são presentes, abre-se uma possibilidade de expansão do mercado da Construção Civil através da exploração das mesmas.

No cenário nacional atual, em certas regiões brasileiras, como São Paulo por exemplo, jazidas de arenito já são exploradas e areias são produzidas e utilizadas como parte da composição do agregado miúdo para concreto. A forma de exploração das jazidas para a produção deste tipo de areia possui variações de acordo com a tomada de decisão da empresa exploradora, porém o método consiste basicamente no desmonte das rochas e separação e eliminação do pulverulento. No caso do arenito, é comum ter o desmonte através de caminhões retroescavadeira ou jateamento de água em alta pressão. Para separação e eliminação das partículas finas, é comum usar procedimentos via úmida, devido a sua maior eficiência comparado a procedimentos via seca, em relação à separação de partículas finas argilosas. Segundo França e Massarani (2002), o uso de ciclone - que tem como princípio básico de separação de partículas a sedimentação centrífuga, onde as partículas suspensas são submetidas a aceleração centrífuga, fazendo com que elas se separem do líquido a partir do próprio movimento de suspensão no interior do equipamento - é uma das alternativas para esta etapa do processo de exploração.

No entanto, assim como qualquer matéria prima natural, suas características físicas e mineralógicas podem variar de região para região e até mesmo dentro de uma mesma jazida em diferentes pontos de extração, influenciando diretamente no método escolhido para a exploração e processamento da areia e, também, na qualidade e desempenho do produto final. A proposta deste trabalho, portanto, é criar uma metodologia para analisar a viabilidade da produção de areias a partir do processamento de jazida de arenito para o uso em concreto e determinar um processo para a otimização desse material.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Este trabalho tem como objetivo geral, através da criação de uma metodologia, avaliar a viabilidade da produção de areias a partir do processamento de jazida de arenito para o uso em concreto e determinar um processo para a otimização desse material.

2.2 ESPECÍFICOS

- Avaliar a o teor e a qualidade do pulverulento da areia de arenito através do Ensaio de Caracterização e do Ensaio de Composição Química (*Teste Azul de metileno*).
- Avaliar o desempenho da areia de arenito em argamassas através dos Ensaio Comparativos de Consistência e Manutenção de Consistência (*Flow table test*), e Massa Específica.
- Avaliar o desempenho da areia de arenito em concreto através dos Ensaio Comparativos de Consistência e Manutenção de Consistência (*Abatimento do tronco de cone*), e Massa Específica.
- Avaliar a validade do método através da correlação dos resultados em argamassas e concretos plásticos.

3 CONCRETO

A busca pela otimização do concreto, como já foi explanado no *capítulo 1. Introdução*, depende de uma série de fatores a serem trabalhados. Certas propriedades existentes do concreto, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido (trabalhabilidade, índice de fluidez, resistência à compressão e durabilidade), são fatores essenciais para um desenvolvimento adequado do produto final e também servem como parâmetros indicativos para se ter uma boa compreensão do desempenho de acordo com as variadas aplicações do material dentro da Construção Civil.

3.1 PROPRIEDADES NO ESTADO FRESCO

3.1.1 Trabalhabilidade

Trabalhabilidade é uma característica do concreto no estado fresco difícil de mensurar quantitativamente, pois está relacionada às condições operacionais do concreto em questão. Um concreto pode apresentar trabalhabilidade adequada para um tipo de construção, mas não para outra que emprega diferentes técnicas de transporte, lançamento e adensamento (MEHTA & MONTEIRO, 2008).

Em se tratando de trabalhabilidade, duas propriedades são de essencial necessidade de compreensão: coesão e consistência.

A coesão de uma mistura de concreto se refere à capacidade de resistir à segregação durante o processo de adensamento. Essa propriedade é regida principalmente pela quantidade de materiais finos presente na mistura e pela proporção relativa entre agregados miúdo e graúdo (MEHTA & MONTEIRO, 2008).

Já a consistência, de acordo com Mehta e Monteiro (2008), é a propriedade a qual relaciona a mobilidade com a umidade da mistura de concreto, onde sua determinação geralmente é dada por meio do ensaio de abatimento do tronco de cone (slump test). O uso deste ensaio para medição de um índice aproximado da trabalhabilidade é considerado plausível, considerando a facilidade de realização do ensaio de abatimento e por gerar resultados quantitativos.

Fatores, já explanados no item 1 Introdução, como – o tipo e qualidade do cimento e aditivo, também como sua interação, e as características dos agregados utilizados na mistura – afetam diretamente no estado fresco de uma mistura. Vale voltar a frisar a importância da parcela dos agregados miúdos em relação ao desempenho no estado fresco, tanto pelo grau de influência no desempenho em si quanto na questão econômica. Através da seleção e desenvolvimento deste insumo (que comparativamente aos outros tem um baixo valor agregado), existe a

possibilidade de se atingir resultados satisfatórios tecnicamente com benefícios econômicos.

Porém, atualmente, não existem métodos consagrados na literatura para seleção e desenvolvimento de agregados miúdos para concretos. A seleção é feita por muitos apenas buscando materiais que se enquadrem nos requisitos da NBR 7211-2014 que prescreve curvas granulométricas ótimas e utilizáveis e limita teores de impureza (material pulverulento e matéria orgânica). No caso da não existência de materiais que atendam as curvas granulométricas, se busca compor misturas de areias finas e grossas (de jazidas naturais ou de britagem) que se enquadrem nos limites especificados pela referida norma. Existem ainda aqueles tecnólogos que selecionam os agregados miúdos através do método de tentativa e erro, buscando o atendimento às especificações normativas em relação as propriedades do concreto – trabalhabilidade, resistência e durabilidade – com valores econômicos. De certa forma, desta maneira pode até gerar bons resultados, porém o tempo gasto até alcançar-se uma solução e o número de ensaios e quantidades de materiais utilizados pode variar de acordo com a experiência prática e o nível de conhecimento teórico de quem aplica o método, em relação à influência das características dos agregados, explanados com mais detalhes no item 4 *Agregado*.

Independentemente do método utilizado, é através da demanda de água necessária para se atingir a trabalhabilidade desejada e do teor de ar incorporado no processo de mistura que a influência do agregado miúdo no desempenho do concreto em estado fresco torna-se aparente, em um ensaio comparativo de consistência. Portanto, para garantia de resultados coerentes e consistentes destes fatores, o método escolhido deve estar de acordo com os procedimentos de ensaios sugeridos pelas normas brasileiras, de acordo com as normas brasileiras, pela credibilidade que a padronização de um ensaio normatizado oferece.

3.2 PROPRIEDADES NO ESTADO ENDURECIDO

3.2.1 Resistência à Compressão

A resistência à compressão axial, de acordo com Andrade e Tutikian (2011), é uma propriedade bastante estudada devido a associação com outras propriedades do concreto no estado endurecido, direta ou indiretamente. Além disso, é a principal propriedade do concreto geralmente especificada em projetos estruturais. Sua relação com a durabilidade do concreto está completamente ligada, o que intensifica ainda mais o estudo em cima desta propriedade.

Essa propriedade do concreto no estado endurecido é definida como a tensão limite que a peça pode suportar, sofrendo a ruptura se for submetida além desse valor de tensão. Diferentemente do ensaio de tração, no ensaio de compressão o corpo-de-prova de concreto pode ser considerado rompido mesmo

não apresentando fratura externa. Isso porque o concreto possui pequenas fissuras internas mesmo antes de ser submetido a solicitações externas. Quando a solicitação externa alcançar a carga de ruptura à compressão do concreto, tais fissuras internas terão atingido um estado tão avançado que tornam-se insustentáveis pelo corpo-de-prova de concreto (MEHTA & MONTEIRO, 2008). A resistência à compressão do concreto é calculada de acordo com a Equação 1:

$$f_c = \frac{F}{A}$$

Onde: Equação
1

f_c – resistência à compressão (kN/cm²);

F – carga máxima aplicada (kN);

A – área da seção do corpo-de-prova (cm²).

A resistência à compressão de um concreto é função direta de sua composição, e relaciona-se principalmente com a relação água/cimento. Portanto, para aumentar a resistência, pode-se aumentar o consumo de cimento das misturas e/ou reduzir o consumo de água. Como aumentar o consumo de cimento implica no aumento de custo do material além de incrementar sua retração e a diminuição da quantidade de água pode impactar diretamente na trabalhabilidade, durante o processo de dosagem dos concretos é fundamental que sejam selecionados agregados e aditivos redutores de água que melhorem suas características técnicas e tornem o material mais econômico.

4 AGREGADO

Agregado é um material granular utilizado com um meio cimentício para a produção de argamassa ou concreto. A qualidade do agregado para a confecção de um concreto é fundamental, haja vista sua influência na resistência, durabilidade e desempenho estrutural do conjunto. Além disso, é muito importante do ponto de vista econômico, devido ao seu reduzido custo em relação ao cimento, e também do ponto de vista técnico, ao conferir maior estabilidade dimensional e melhor durabilidade do que a pasta de cimento pura (NEVILLE, 1997; MEHTA & MONTEIRO, 2008).

A classificação dos agregados vai de acordo com sua composição granulométrica, segundo a NBR 7211:2009:

- Miúdos: Aqueles cujos grãos passam pela peneira ABNT 4,75mm e ficam retidos na peneira 0,15mm;
- Graúdos: Aqueles cujos grãos passam por uma peneira de malha quadrada com abertura nominal de 75mm e ficam retidos na peneira ABNT 4,75mm;
- Agregado total: Agregado resultante da britagem de rochas cujo beneficiamento resulta numa distribuição granulométrica constituída por agregados graúdos e miúdos ou por mistura intencional de agregados britados e areia natural ou britada.

4.1 CARACTERÍSTICAS DOS AGREGADOS

4.1.1 Massa Específica Aparente

A massa específica aparente, de acordo com a Norma NM 52:2002, é definida como a relação entre a massa de um agregado seco e seu volume (volume de seus grãos incluindo os poros permeáveis). A sua determinação pode ser realizada através do método do picnômetro, descrito na ABNT NBR 6508:1994.

A determinação da massa específica aparente de uma areia é essencial para determinação da parcela volumétrica do material a ser utilizada nas misturas de argamassa e concreto. De acordo com Prudêncio Jr (2017), seu valor é utilizado no cálculo do consumo de materiais em concretos e argamassas.

A influência em que o agregado tem no desempenho da mistura está relacionado, além de suas características físicas e químicas, com a quantidade volumétrica na mistura. Portanto, a massa específica aparente é um parâmetro utilizado para determinação do volume através da massa, característica medida indiretamente através do peso.

4.1.2 Massa Unitária

A massa unitária de um agregado é utilizada quando é necessária a sua quantificação em volume. É definida como a relação entre a massa do agregado seco e o volume de um recipiente que o contém, ou seja, envolve o volume aparente dos grãos e o volume dos vazios intergranulares (NEVILLE, 1997). Sua determinação está imposta na ABNT NBR NM 45:2006.

4.1.3 Composição Granulométrica

A composição granulométrica é uma propriedade que mede indiretamente a distribuição do tamanho das partículas de um agregado.

A análise granulométrica consiste na operação de separação das partículas constituintes de mesmo tamanho de uma amostra de agregado. Essa separação é realizada através de peneiras com aberturas padronizadas, correspondentes às séries normal e intermediária.

Tabela 1- Sequência de peneiras da série normal e intermediária (NBR 7211/2009)

Série Normal- Abertura (mm)	Série Intermediária - Abertura (mm)
76	--
--	63
--	50
37,5	--
--	31,5
--	25
19	--
--	12,5
9,5	--
--	6,3
4,75	--
2,36	--
1,18	--
0,6	--
0,3	--
0,15	--

A amostra de agregado é submetida ao peneiramento em peneiras de aberturas sucessivamente menores e, dessa forma, é separado em frações de partículas entre determinadas faixas de tamanho (NEVILLE, 1997). O procedimento para sua determinação e as aberturas das peneiras utilizadas no ensaio vão de acordo com a ABNT NBR NM 248:2003 e a NBR 7211:2014, respectivamente.

Talvez seja uma das características mais importantes a se determinar de um agregado durante o processo de desenvolvimento de uma areia. Entretanto, a textura e forma dos grãos de agregado miúdo tem grande relevância no desempenho de uma mistura. De acordo com Neto (2011), partículas angulosas e ásperas geralmente demandam uma quantidade maior de pasta de cimento, quando comparada com partículas arredondadas e lisas. Porém, ao contrário destas características imutáveis, com mudanças no processamento da areia, é possível otimizar a granulometria de um material e torna-lo mais eficiente.

4.1.4 Módulo de Finura

O módulo de finura é um número que representa o tamanho médio ponderado de uma peneira onde o material é retido. Seu valor é obtido a partir da soma das porcentagens retidas acumuladas nas peneiras da série normal dividido por cem. Logo, quanto mais grosso é o agregado, maior será o seu módulo de finura (NEVILLE, 1997).

A sua determinação é muito importante tanto para a compreensão da influência do agregado no comportamento de uma mistura quanto para o desenvolvimento de dosagens. Inclusive, o módulo de finura relacionado com o abatimento de uma mistura é utilizado para determinação do índice de fluidez, parâmetro utilizado na análise de trabalhabilidade de argamassas no estado fresco, que é a razão entre espalhamento da mistura pelo módulo de finura.

4.1.5 Substâncias Nocivas nos Agregados

De acordo com Neville (1997), três categorias de substâncias podem interferir negativamente na confecção de concretos e argamassas: impurezas orgânicas, torrões de argila e partículas não sãs.

- **Impurezas orgânicas:** A matéria orgânica encontrada nos agregados pode interferir nas reações químicas de hidratação do cimento. Essas impurezas são provenientes da decomposição de detritos de origem vegetal e se apresentam na forma de húmus e argila orgânica.
- **Material pulverulento e torrões de argila:** A presença de partículas muito finas tais como argilas pode influenciar na aderência entre o agregado e a pasta de cimento, sob a forma de películas superficiais. Essa diminuição de aderência pode resultar na redução da resistência e da durabilidade do concreto. Além disso, alguns tipos de argila possuem uma capacidade de absorver grandes quantidades de água e podem até apresentar comportamento expansivo. Sob forma de torrões, constituem-se em pontos de fraqueza que comprometem a resistência do concreto.
- **Partículas não sãs:** Materiais que apresentam massa específica baixa podem ser considerados deletérios, assim como a inclusão de materiais moles como torrões de argila e carvão. Esses agentes podem comprometer a resistência do concreto se utilizados em teores superiores a 5% da massa do agregado, e, mesmo em baixos teores, podem resultar em falhas. O carvão é um material mole e pode causar a desagregação do concreto devido ao seu potencial de expansibilidade. Além disso, se a presença de materiais carbonosos ocorrer em grande quantidade, existe a possibilidade da hidratação da pasta de cimento ser perturbada.

O controle de qualidade dos agregados, portanto, é extremamente necessário para garantia de um material adequado para o uso em argamassa e concreto. A contaminação

com estas substâncias implica numa queda de desempenho do produto final, concreto ou argamassa, e, se não diagnosticada, causar danos irreparáveis. Quanto a especificações normativas para o controle de qualidade das areias em relação a estas substâncias, é exposto no item 4.2 *Critérios de Norma*.

4.2 CRITÉRIOS DE NORMAS

Os critérios de norma referentes aos agregados miúdos têm como um de seus objetivos guiar o desenvolvimento de um produto adequado para o uso em misturas de concreto. Isto é feito através da imposição de requisitos relacionados com as características do material expostas no item 4.1 *Características dos agregados*.

Em relação aos limites de teores máximos de substâncias nocivas, tem-se as especificações segundo a norma NBR 7211:2009:

- a) Torrões de argila e materiais friáveis, determinado segundo a NBR 72181,5%
- b) Materiais carbonosos, determinado de acordo com a ASTM C123:
 - Em concretos cuja aparência é importante0,5%
 - Nos demais concretos1,0%
- c) Material pulverulento, determinado de acordo com a NBR NM 46:
 - Em concretos submetidos a desgaste superficial3,0%
 - Nos demais concretos5,0%

Nota: Estes limites podem ser aumentados para 10 e 12% em massa respectivamente, quando o material que passa na peneira 0,075mm for constituído totalmente de grãos gerados durante a britagem de rocha.

A granulometria, determinada segundo a NBR NM 248, deve atender aos limites estabelecidos na Tabela 2. Podem ser utilizados, como agregado miúdo para concreto, materiais com distribuição granulométrica diferente das zonas estabelecidas na Tabela 4.2, desde que estudos prévios de dosagem comprovem sua aplicabilidade.

Tabela 2 - Limites granulométricos de agregado miúdo (NBR 7211:2009)

Porcentagens Retidas Acumuladas				
Abertura (mm)	Limites Inferiores		Limites Superiores	
	Zona utilizável	Zona Ótima	Zona Ótima	Zona utilizável
9,5	0	0	0	0
6,3	0	0	0	7
4,75	0	0	5	10
2,36	0	10	20	25
1,18	5	20	30	50
0,6	15	35	55	70
0,3	50	65	85	95
0,15	85	90	95	100
Notas:	1. O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90 2. O módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20 3. O módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50			

Apesar da existência de normas para especificação e seleção do agregado adequado, acredita-se que apenas seguindo as recomendações da norma, existe a possibilidade de cometer-se equívocos no processo de seleção de um material adequado para o uso em concreto.

Por outro lado, de acordo com Prudêncio Jr. (2017), existe a possibilidade de um agregado miúdo ou composição de agregado miúdo, mesmo fora dos limites granulométricos impostos pela NBR 7211:2009, ser um material com desempenho satisfatório para ser utilizado em misturas de concreto.

Entretanto, durante o processo de dosagem do concreto, esta deficiência em granulometria deve ser compensada na definição da relação entre o agregado graúdo e miúdo que deve ser tanto maior quanto mais fino o agregado miúdo. Além disso, o uso de agregados miúdos mais grosseiros produz misturas ásperas e é necessário um teor elevado de areia para se conseguir maior trabalhabilidade. Esta areia é mais apropriada para misturas ricas ou para uso em concretos de baixa trabalhabilidade. O uso de areias muito finas geralmente implica num aumento da demanda de água nos concretos e argamassas, mas pode-se reduzir o teor de argamassa nos concretos o que, de certa forma, diminui o problema (PRUDÊNCIO JR.,2017).

4.3 CONSIDERAÇÕES SOBRES AS ESPECIFICAÇÕES NORMATIVAS

Pode se afirmar que as especificações das normas são referências iniciais para a seleção de agregados. Porém, em certos aspectos, as mesmas são insuficientes ou omissas em critérios de desenvolvimento de areias. O aspecto econômico deve sempre ser levado em consideração. De acordo com Prudêncio Jr.(2017), é preferível o uso de uma areia com uma granulometria menos favorável em casos que as opções mais

favoráveis tiverem um custo mais alto. A distância da jazida, neste quesito, pode ser fator determinante para a escolha, devido ao custo de transporte.

Entretanto, volta-se a enfatizar que existem certos limites ou faixas granulométricas em que se conseguem melhores resultados em termos de dosagem, quer sob o ponto de vista técnico ou econômico.

Devido a isto, sempre que possível, é interessante que se façam composições de agregados miúdos de modo a obter uma mistura com características granulométricas o mais próximo possível das especificações da Zona Ótima (NBR 7211:2009). Isto quer dizer que às vezes é possível conseguir-se um bom agregado miúdo a partir de uma mistura de dois materiais inadequados ou menos adequados (um fino e um grosso). A seguir é apresentado um procedimento para a determinação da composição entre dois agregados (PRUDÊNCIO JR,2017).

Procedimento:

De posse do resultado da análise granulométrica dos dois agregados miúdos com os quais deseja-se compor a mistura, e da faixa de referência, deve-se buscar composições que melhor se enquadrem aos limites da NBR 7211-2009. Essa busca pode ser realizada por meio de gráfico montado em uma planilha Excel onde pode-se ir variando os percentuais dos agregados e verificar o posicionamento da curva resultante em relação aos limites da norma, como mostra a Figura 1.

Figura 1 - Faixas granulométricas recomendadas para agregados miúdos pela NBR 7211:2009.

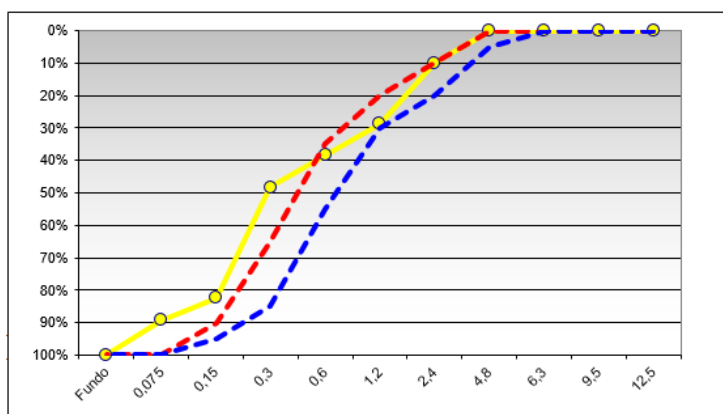
COMPOSICAO DE AREIAS: ADEQUACAO A ZONA OTIMA

Tipo de areia	%
Areia Britagem	65,00%
Areia Ravlen	35,0%

#	A. Brit.	A. Ravlen	% Acum.
12,5	0%	0%	0%
9,5	0%	0%	0%
6,3	0%	0%	0%
4,8	0%	0%	0%
2,4	15%	0%	10%
1,2	44%	0%	29%
0,6	59%	0%	38%
0,3	69%	10%	48%
0,15	78%	90%	82%
0,075	86%	95%	89%
Fundo	100%	100%	100%
Σ	4,5	Σ	207,83%
Σ c/ pulv	4,9		

* Retido no peneiramento e material pulverulento

Módulo de Finura
2,078



O método gráfico de composição de agregados miúdo descrito acima costuma ser bastante eficiente quando as areias utilizadas são originadas de jazidas naturais que apresentam características de grãos lisos e arredondados. Entretanto, por questão econômicas e ambientais, atualmente existe a tendência da utilização de agregados

miúdos de britagem em composições de areia. Como estas areias geralmente costumam apresentar forma angulosa, textura áspera, uma granulometria mais grosseira e um teor de pulverulento mais elevado, existe uma necessidade de a composição ser feita com areias finas com grãos arredondados. Porém, com o aumento destes casos de composições entre areias de natureza tão distintas, o método tende a se tornar de certa forma ineficaz, já que a necessidade ao combate ao atrito causado pela forma e textura dos grãos da areia de britagem acaba por implicar em um uso de areias finas em maior proporção. Devido a isto, atualmente existe a necessidade do uso de métodos alternativos mais adequados para composição de areia de britagem com areias naturais finas. O método apresentado por Prudêncio Jr (2017) tem sido utilizado com sucesso em estudos de dosagem para Centrais de Concreto e Industrias de Pré-Moldados e foi utilizado no presente trabalho com algumas adaptações.

5 AREIA DE ARENITO

5.1 GEOLOGIA

O arenito é uma rocha sedimentar proveniente do processo de litificação, de acordo com Suguio (2003, apud Crook, 1960). A rocha, de acordo com o processo de formação e características da região, pode ter composições mineralógicas distintas.

O *arenito de quartzo* é o mais comum e, como o nome indica, é formado principalmente de grãos de quartzo. Outra variedade de arenito chamada *arcósio* contém pelo menos 25% de feldspato (WICANDER e MONROE, 2009). Apesar de parte da composição do arenito ser majoritariamente por estes minerais, de acordo com Suguio (2003) existem outros minerais que podem ser encontrados na composição, como argilominerais, minerais pesados, carbonatos, sílica autigênica, sulfatos e sulfetos.

Em relação às características texturais e de forma dos grãos do arenito, costumam ser arredondados e lisos. O grau de arredondamento, segundo Suguio (2003), dependem de suas características físicas e da *história de abrasão*. O arredondamento é um processo muito lento, principalmente nos grãos arenosos de quartzo (Suguio, 2003).

Portanto, dependendo de todos estes fatores citados anteriormente, a areia a vir ser processada a partir de uma jazida de arenito pode se comportar de maneiras distintas em uma mistura em concreto. Por estes motivos, torna-se imprescindível a realização de uma análise de viabilidade para exploração destas jazidas para produção de areia de arenito para o uso em concreto.

5.2 PRODUÇÃO DE AREIA DE ARENITO

O arenito existente na Região Sul do Brasil é uma rocha constituída por sedimentos arenosos cimentados por materiais de origem argilosa. A presença de argilas nas areias é considerada nociva para o concreto em função de sua composição mineral e, portanto, precisam ser eliminadas. A norma brasileira NBR 7211-2009 só permite quantidades de material menor que 75 μm entre 3 e 5 % dependendo do tipo de concreto onde será empregada esta areia. Este fato muda quando se passa de areias naturais para areias de pedreira, pois os finos destas são finos de cominuição da rocha que lhes deu origem.

O processo de lavra de um arenito inicia com a decapagem da jazida. Uma vez cumprida esta etapa, a rocha passa pelo desmonte que pode ser feito por conchas de escavadeira (escarificação), com o auxílio ou não de jatos de água (Figura 2). Este material então passa para um tanque com água onde ocorre a segregação da grande maioria das partículas arenosas e a argila forma uma lama. Este conjunto é denominado polpa.

Figura 2 - Desmonte da frente de lavra por meio de jatos d'água (Fonte Anepac)



Normalmente a polpa é retirada do tanque por dragagem e encaminhada ao equipamento responsável pela separação da areia e argila. A classificação dos grãos e a “deslamagem” são sempre feitas a úmido. Os equipamentos mais utilizados para esta operação são os classificadores espiral, os ciclones e as rodas d'água. Antes da introdução do material dragado nos equipamentos de classificação, ocorre um peneiramento para exclusão dos grãos maiores de 1,2mm (grãos grosseiros de arenito que não conseguiram se desagregar no tanque).

Os classificadores espiral, Figura 3, são equipamentos muito robustos e confiáveis. Eles são constituídos de um tanque dentro do qual gira uma espiral. O movimento da espiral agita a polpa, mantendo-a em suspensão. Variando-se a proporção de sólidos e água, variará a densidade da polpa e a sua viscosidade. As partículas arenosas da polpa, devido ao seu tamanho, geralmente têm peso suficiente para afundar. Se afundam, acumulam-se no fundo do classificador, de onde são arrastadas tanque acima pelo movimento da espiral. As partículas que não conseguem afundar, transbordam do classificador. Os classificadores espiral são fabricados em diferentes tamanhos, o que lhes dá uma faixa de capacidades muito ampla (desde cerca de 60 até cerca de 1.720 t/h de lama eliminada pelo overflow). A faixa de separação (d_{95}) vai de cerca de 800 μm a 74 μm (CHAVES, 2004 apud Almeida e da Luz 2009).

Figura 3 - Classificador Espiral



Os ciclones, Figura 4, são equipamentos que transformam a pressão com que a polpa lhos é alimentada em movimento circular pelo fato da abertura de alimentação ser tangencial ao corpo do equipamento. As partículas arrastadas por este movimento circular (mais precisamente, "rotacional") sofrem a ação da força centrífuga e são arrastadas para a periferia do ciclone. As partículas maiores têm massas maiores e expulsam as partículas menores de volta para o centro, ou sequer as deixam afundar. Cria-se uma zona central onde predominam as partículas finas e uma zona externa onde predominam as partículas grossas. O projeto do equipamento faz com que a zona central seja descarregada pelo overflow e a zona externa pelo underflow, ocorrendo assim a classificação desejada. Os ciclones também são fabricados em diferentes tamanhos, o que também lhes dá uma faixa de capacidades muito ampla, que pode ser multiplicada pelo uso de baterias de ciclones em paralelo. A faixa de separação (d_{95}) vai de desde $3\text{ }\mu\text{m}$ a $150\text{ }\mu\text{m}$ (CHAVES, 2004 apud Almeida e da Luz 2009). Como regra geral, o diâmetro de corte (d_{95}) aumenta com o tamanho do ciclone (diâmetro interno da porção cilíndrica).

Figura 4 - Ciclones



Outra opção para separação da argila da areia, muitas vezes utilizada em consórcio com os ciclones são as rodas d' água (Figura 5). O seu funcionamento é semelhante ao dos classificadores espiral. A polpa é introduzida em um tanque. O material mais grosso (areia) sedimenta e é recolhido por caçambas, cujo fundo é constituído por uma tela de abertura em torno de $0,5$ a 1 mm . Estas caçambas estão posicionadas tangencialmente à roda. Com o giro da roda, a fração da polpa recolhida por uma dada caçamba sofre um processo de filtragem onde a água mais as partículas muito finas (argilas) drenam por entre os grãos de areia e permanecem no tanque. Os grãos de areia então são conduzidos para uma esteira que leva o material para uma pilha de estoque. A água da polpa sofre diluição pela introdução contínua de água e o overflow do tanque é conduzido para lagoas de decantação. A água dessas lagoas é reciclada e retorna ao processo. O mesmo ocorre com o overflow do processo de separação por ciclone e classificadores espiral.

Figura 5 - Rodas d'água ou rodas de caçamba.



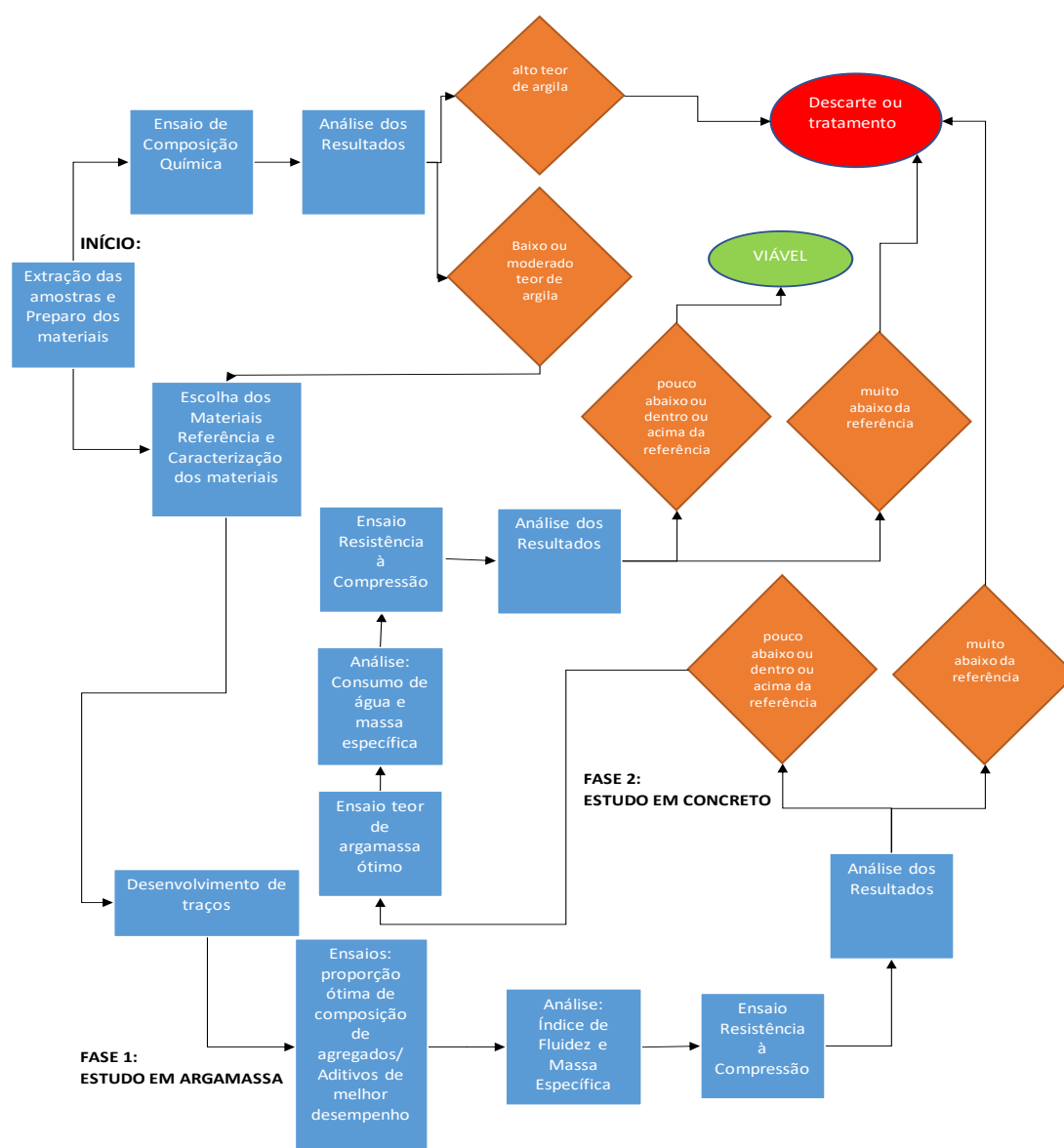
Em todos os casos, sempre resta um teor de material pulverulento nas areias produzidas que será função do grau de diluição da polpa e da velocidade de produção utilizada.

6 METODOLOGIA

De forma a avaliar a viabilidade da exploração de jazidas de arenito para produção de agregado miúdo para concreto, o método elaborado abrange desde critérios para extração das amostras, de forma a serem consideradas representativas, até a realização dos ensaios descritos a seguir, os quais devem ser executados respectivamente na ordem a qual está exposta abaixo, afim de alcançar uma análise coerente do desempenho da areia proveniente da jazida de arenito e consequentemente da viabilidade da exploração também.

Figura 6 - Fluxograma da Metodologia

FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA



6.1 EXTRAÇÃO DAS AMOSTRAS E PREPARO DOS MATERIAIS

É de extrema importância extrair-se amostras representativas da jazida, tanto quantitativamente quanto qualitativamente. A heterogeneidade da jazida de arenito (variação geológica, tanto em coloração quanto em propriedades físicas e químicas), determina o número de amostras a serem extraídas e ensaiadas para se ter uma análise coerente da viabilidade. Para isso, é recomendado a sondagem do terreno. Uma das alternativas é a sondagem SPT, ensaio que, através da extração de diversas amostras de diferentes pontos do terreno, torna possível a avaliação quantitativa das possíveis variações geológicas em diferentes pontos da jazida.

Para o preparo das amostras de areia de arenito, supondo que a jazida ainda está em fase de avaliação e não exista o processo industrial disponível em campo, é necessário serem feitas lavagens para uma simulação de um material processado. A lavagem pode ser feita manualmente movimentando a amostra dentro de um recipiente com água e removendo o excesso de material pulverulento com uma peneira (0,075mm). Dependendo do volume de material a ser lavado, é mais indicado o uso de uma betoneira com eixo inclinado com a utilização de um conjunto de peneiras (1,2mm- peneira de proteção - e 0,075mm) para a remoção do excesso de pulverulento a fim de se chegar em um material com características necessárias para um desempenho satisfatório no concreto.

Após a lavagem, o material remanescente deve ser coletado e retirados os grãos (grumos) grosseiros por peneiramento na peneira 2,4mm. Para finalizar, a amostra deve ser seca em fogareiro ou em estufa e, após o resfriamento, está pronta para a caracterização.

Para as amostras dos agregados miúdos e graúdos referência, assumindo que os mesmos já sejam materiais processados industrialmente, é apenas necessário se ter materiais secos para a próxima etapa de caracterização dos materiais.

6.2 ESCOLHA DOS MATERIAIS REFERÊNCIA E CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Os materiais referência a serem utilizados na metodologia devem ser escolhidos de acordo com a região onde o método está sendo implementado. Considerando que o material em estudo está sendo analisado para uma possível entrada no mercado da Construção Civil como uma alternativa de agregado miúdo, os materiais já utilizados nas centrais de concreto são ótimas referências para serem utilizadas como parâmetro comparativo. Materiais com características semelhantes já consagrados no mercado da Construção Civil também são boas referências para o estudo.

Para a caracterização dos agregados miúdos e graúdos, devem ser realizados os ensaios de análise granulométrica e massa específica de acordo com as normas brasileiras expostas no item *4.1 Características dos Agregados*. Para o cimento não é necessária a caracterização. Suas especificações podem ser fornecidas pelo fabricante.

A partir dos resultados obtidos nos ensaios de análise granulométrica e massa específica dos materiais, pode-se iniciar a próxima etapa de desenvolvimento de traços iniciais para os ensaios comparativos da metodologia.

6.3 DESENVOLVIMENTO DOS TRAÇOS

O desenvolvimento dos traços a serem usados nos ensaios deve partir de um traço referência constituído pelos materiais referência adquiridos para a metodologia. A metodologia não restringe requisitos para o traço referência além dos requisitos mínimos de durabilidade, resistência e trabalhabilidade, mas sugere que o traço tenha conformidade com os traços já utilizados na região em que a metodologia está sendo imposta.

A partir dos parâmetros arbitrados através da característica do traço referência – resistência à compressão característica (f_{ck}), relação água/cimento, teor de aditivo, teor de argamassa, proporção entre agregados – junto ao procedimento exposto no item 6.4.1.1 *Procedimento para determinação da quantidade de materiais utilizados na mistura*, os traços produzidos a partir dos materiais alternativos são calculados. A princípio, a substituição entre a areia fina referência e a areia de arenito é feita na mesma quantidade em volume. Porém, cada etapa de ensaio previsto na metodologia vai exigir uma substituição em teores volumétricos distintos, afim de se desenvolverem traços com o melhor desempenho possível.

6.4 ENSAIOS COMPARATIVOS DE CONSISTÊNCIA, MANUTENÇÃO DA CONSISTÊNCIA E MASSA ESPECÍFICA

Os ensaios comparativos de consistência, manutenção da consistência e massa específica tem como objetivo, através da comparação dos resultados em relação aos parâmetros - espalhamento, perda de abatimento, relação água/cimento e índice de fluidez - avaliar o desempenho dos traços no estado fresco e trazer indicativos de desempenho no estado endurecido também. O método destes ensaios em questão é uma adaptação do método de seleção e desenvolvimento de composição de agregados miúdos proposto por Prudêncio Jr. (2017). Porém, a metodologia aqui proposta tem como premissa atingir-se um espalhamento fixo desejado apenas com a variação da quantidade de água utilizada no traço. O método de Prudêncio Jr. (2017) (Vide Anexo B), por outro lado, tem como parâmetro fixo a relação água/cimento e o espalhamento torna-se o parâmetro comparativo.

De toda forma, é através da fixação de parâmetros e da execução do ensaio de forma padronizada de acordo com o procedimento proposto pelo método, que resultados mais confiáveis são garantidos. O método também sugere que todos os traços de cada ensaio sejam ensaiados no mesmo dia e com ambiente controlado.

6.4.1 Procedimento de ensaio

Os ensaios podem ser realizados tanto em argamassadeira quanto em betoneira (com exceção do ensaio de determinação do teor ótimo de argamassa na mistura). As diferenças nos procedimentos são apenas na quantidade de material e nos tempos padronizados do procedimento, tudo isso para garantir uma boa correlação com a mistura de fato em campo no caminhão betoneira, simulando uma situação real em campo.

6.4.1.1 Procedimento para determinação da quantidade de materiais utilizados nas misturas

Existe a preocupação com a quantidade necessária de materiais a serem utilizados nos ensaios. A quantidade utilizada deve atender a faixa de volume especificado da argamassadeira ou betoneira utilizada nos ensaios para garantia de uma boa mistura. A metodologia sugere para argamassadeira padrão utilizada em ensaios de cimento em laboratório, um volume aproximado de 1,5 litros, e para betoneira de eixo inclinado de 120 litros de capacidade de cuba, pelo menos 20 Litros de mistura. Estas quantidades de materiais são suficientes para moldagem de corpos de prova a serem utilizados nos ensaios de comparação de resistência, conforme o item 6.5 *Ensaio Comparativo de Resistência à Compressão*.

A determinação, por fim, vai de acordo com o proposto pelo método de seleção e desenvolvimento de composição de agregados miúdos proposto por Prudêncio Jr.(2017). O procedimento consiste nas seguintes etapas:

- a) mistura do cimento com a água até atingir-se a relação água/cimento teórica arbitrada para os traços;
- b) Adição da composição de areia referência à pasta de cimento até se chegar a consistência visual desejada;
- c) Cálculo do volume teórico da argamassa através do somatório da multiplicação da massa específica de cada material pela massa utilizada no teste;
- d) Cálculo da quantidade dos materiais a se utilizar para se atingir um volume teórico desejado nos ensaios comparativos através do cálculo:

$$\text{Quantidade de material} = \text{Massa teste} \times (\text{Volume Desejado} / \text{Volume Teste})$$

6.4.1.1 Procedimento em argamassadeira

Antes de dar início ao ensaio, é sugerido que os materiais secos, aditivos e água teórica dos traços já estejam pesados. Também é recomendado que já se tenha impresso uma planilha com todos os dados a serem anotados a partir das medições feitas no ensaio (exemplos no Anexo). Molha-se a cuba e faca da argamassadeira para não grudar o material seco quando entrarem em contato. Coloca-se os materiais secos na cuba na

seguinte ordem: areia artificial, cimento e, por último, areia natural/de arenito. Mistura-se cuidadosamente os materiais por poucos segundos até atingir a homogeneidade.

Dado início ao cronômetro até os 30 segundos, mistura-se o material inserindo até metade da água teórica do traço. Desliga-se a argamassadeira por um instante para inserir o aditivo na mistura. É ligada a argamassadeira novamente e, até 6 minutos, adiciona-se água suficiente até a mistura atingir uma consistência visual do espalhamento desejado. É feito o ensaio de espalhamento (flow table), com medição do diâmetro após 10 golpes, 20 golpes e por fim, 30 golpes. A mistura é então guardada em um recipiente de plástico vedado.

Após 40 minutos, a mistura é colocada novamente na argamassadeira para homogeneizar o material para novamente ser feito o ensaio de flow table. Caso o resultado de espalhamento tenha dado abaixo do arbitrado como desejado, a mistura é colocada novamente na argamassadeira e é adicionado água até chegar-se a consistência do espalhamento desejado (avaliação visual). Mede-se novamente o espalhamento segundo o ensaio de flow table. Por último é feito o ensaio de massa específica e depois são moldados 2 corpos de prova de 5x10cm para posteriormente ser determinada a resistência à compressão aos 7 e 28 dias.

6.4.1.2 Procedimento em betoneira

Antes de dar início ao ensaio, é sugerido que os materiais secos, aditivos e água teórica dos traços já estejam pesados. Também é recomendado que já se tenha impresso uma planilha com todos os dados a serem anotados a partir das medições feitas no ensaio(exemplos disponíveis no Anexo). Molha-se o interior da betoneira para não grudar o material seco quando entrarem em contato. Coloca-se os materiais secos na betoneira na seguinte ordem: agregados graúdos, areia artificial, cimento e, por último, areia natural/de arenito.

Dado início ao cronômetro até os 30 segundos, mistura-se o material a seco. Dos 30 segundos até os 2 minutos e 30 segundos, mistura-se os materiais inserindo água até atingir-se visualmente um abatimento em torno de 3cm. É adicionado o aditivo diluído em um pouco de água. Avalia-se então visualmente o slump do concreto e, se estiver inferior ao desejado, adiciona-se uma nova quantidade de água até atingir um abatimento desejado. Desliga-se a betoneira para a medição do Slump e depois o material é inserido novamente na betoneira.

É ligada a betoneira novamente por mais 15 minutos com o propósito de simular uma suposta perda de abatimento em situação real em campo no percurso do caminhão betoneira até a obra. Após os 15 minutos, é medido novamente o espalhamento e em seguida o material retorna à betoneira para inserção de uma quantidade complementar de água de modo a restituir o abatimento perdido, misturando-se o material por mais 1 minuto.

Após esse período, realiza-se o ensaio de abatimento, determina-se a massa específica do concreto preenchendo-se e pesando-se um recipiente metálico de volume conhecido e molda-se 4 corpos de prova cilíndricos de 10x20cm para posteriormente ser feita a determinação da resistência à compressão aos 7 e 28 dias.

6.4.2 Determinação do teor ótimo de argamassa na mistura

Para a determinação do teor ótimo de argamassa na mistura, o ensaio comparativo de consistência, manutenção e massa específica deve ser feito de acordo com o item 6.4.1.2 *Procedimento em betoneira*. A definição dos traços a serem ensaiados e comparados devem ser desenvolvidos a partir do valor do teor de argamassa em volume do traço referência escolhido. Para os traços restantes, devem ser ensaiados misturas com o mesmo teor de argamassa em volume, apenas substituindo o agregado miúdo fino pelas areias de arenito e, se possível, outras areias naturais finas com características semelhantes. Também são testadas variações de teores de argamassa em todos os traços. Sugere-se que sejam testadas variações de 2% a menos e 2% a mais, pelo menos. Caso seja possível, pode-se testar também variações de 4% a menos e 4% a mais, para se ter um resultado mais amplo.

6.4.3 Determinação da proporção ótima na composição do agregado miúdo na mistura

Para a determinação da proporção ótima na composição de areia de arenito e areia de britagem, o ensaio comparativo de consistência, manutenção e massa específica pode ser feito tanto de acordo com o item 6.4.1.1 *Procedimento em argamassadeira* quanto com o item 6.4.1.2 *Procedimento em betoneira*. O ensaio deve ser feito concomitantemente com o ensaio de determinação do teor ótimo de argamassa, referente ao item 6.4.2 *Determinação do teor ótimo de argamassa na mistura*. A definição dos traços a serem ensaiados e comparados devem ser desenvolvidos a partir do valor do teor volumétrico de areia fina referência na composição do agregado miúdo no traço referência. Para os traços restantes, devem ser ensaiadas misturas com a mesma proporção em volume na composição dos agregados, apenas substituindo o agregado miúdo fino pelas areias de arenito e, se possível, outras areias naturais finas com características semelhantes. Sugere-se uma variação de 10% e 20% a menos e a mais em relação a proporção do traço referência, pelo menos.

6.4.4 Determinação do aditivo de melhor desempenho

Para a determinação do aditivo de melhor desempenho, o ensaio comparativo de consistência, manutenção e massa específica pode ser feito tanto de acordo com o item 6.4.1.1 *Procedimento em argamassadeira* quanto com o item 6.4.1.2 *Procedimento em betoneira*. A definição dos traços a serem ensaiados e comparados devem ser desenvolvidos a partir dos resultados obtidos no ensaio anterior, realizado de acordo com o item 6.4.3 *Determinação da proporção ótima na composição do agregado miúdo na mistura*. São escolhidos os traços com melhores desempenhos dos ensaios antecedentes a este para a realização do último ensaio em estado fresco, apenas variando os aditivos

escolhidos para o teste, de preferência que sejam produtos já utilizados em centrais de concreto da região ou que tenham possibilidade de inserção no mercado local.

6.5 ENSAIO COMPARATIVO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO EM ARGAMASSA E CONCRETO

O ensaio comparativo de resistência à compressão tanto em argamassa quanto em concreto, tem como objetivo, através da comparação dos resultados, avaliar definitivamente o desempenho dos traços no estado endurecido. Em relação à argamassa, o método exige que o ensaio seja feito de acordo com o Prudêncio Jr (2017), onde na sua metodologia de desenvolvimento de dosagem, o procedimento desta etapa de ensaio de resistência à compressão é descrito desta forma:

Para avaliação da resistência, normalmente são moldados corpos-de-prova cilíndricos de 5x10cm (diâmetro x altura), sendo indicado no mínimo um par de cp's para cada idade avaliada. Na moldagem, o preenchimento da forma deve ser feito em duas camadas, compactadas com a lâmina da espátula com leves golpes para evitar a segregação. Após a moldagem, deixar a superfície da argamassa ligeiramente mais alta do que o topo do molde por aproximadamente 2 horas para depois proceder a rasadura do topo e aplicar uma placa de vidro para evitar evaporação. Manter o molde em câmara úmida por 24 horas, desformar e colocar em água de cal até a data da ruptura (PRUDÊNCIO JR,2017).

Em relação à moldagem e preparo dos corpos de prova e ao procedimento em si do ensaio de resistência em concreto, a metodologia exige que sua execução seja feita através das normas NBR 5738 e NBR 5739.

6.6 ENSAIO COMPARATIVO DE COMPOSIÇÃO QUÍMICA

O ensaio de composição química utilizado na metodologia é o *teste de azul de metileno*. Existem diversas versões do teste, porém a metodologia sugere que o ensaio seja feito de acordo com a norma AASHTO TP57(2000). Esta norma, de acordo com Gabriela Damo, é indicada para análise de microfinos de agregados e atualmente é bastante utilizada em estudos em agregados para concreto de cimento Portland.

O procedimento do ensaio, resumidamente, consiste nas seguintes etapas:

- a) Colocar 10g de material seco, passante na peneira 0,075mm, em um béquer de 500ml;
- b) Adicionar 30ml de água destilada no béquer contendo o material. Utilizar um misturador eletromagnético, misturando a água e o microfino durante 5 minutos;
- c) Com o auxílio de uma bureta, adicionar ao béquer 0,5ml de solução de azul de metileno de concentração 5g/L. Continuar agitando por mais 1 minuto;

- d) Com o auxílio de bastão de vidro, remover uma gota da mistura e colocá-la sobre o papel filtro;
- e) Observar a gota. Continuar adicionando 0,5ml da solução de azul de metileno até que uma “aureola” azul clara apareça ao redor da gota.
- f) A auréola deverá manter-se durante 5 minutos, confirmando com o teste da gota de um em um minuto. Caso a auréola desapareça, continuar adicionando a solução.

Os resultados do teste do azul de metileno são apresentados como o valor do azul de metileno em miligramas de solução por grama do material passante na peneira 0,075mm (DAMO).

Outra metodologia que tem sido empregada é a preconizada pela GCP (empresa produtora de aditivos). A diferença fundamental é que a amostra é utilizada “*in natura*” sem o processo de peneiramento. O resultado já dá uma boa previsão do comportamento do agregado miúdo quanto a demanda de água no concreto.

6.7 ANÁLISE DOS RESULTADOS PARA AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE TÉCNICA

A análise dos resultados é feita em cima dos valores obtidos nos ensaios comparativos de Consistência, Manutenção de Consistência, Massa específica e Resistência à Compressão. A correlação entre os valores obtidos nos ensaios em estado fresco e endurecido é determinante para o entendimento quanto à *performance* dos traços tanto em caráter executivo quanto em desempenho mecânico. Os valores do ensaio de Composição Física são apenas indícios de uma possível explicação em caso de mau desempenho da mistura nos ensaios antecedentes.

Dentro dos ensaios comparativos de Consistência, Manutenção de Consistência e Massa Específica devem ser analisados com seguintes valores:

- **Diâmetro médio no abatimento inicial, antes da correção de água:** medida que indica indiretamente o desempenho da mistura no estado fresco. Dado um determinado diâmetro de espalhamento, quanto menor a quantidade de água inicial para alcançá-lo, melhor o desempenho. Resultado essencial para compreender como a mistura se comportará dentro de uma suposta central de concreto, antes do transporte via caminhão betoneira para a obra.
- **Diâmetro médio no abatimento após período padronizado de perda de abatimento:** medida que, comparada ao diâmetro médio no abatimento inicial, indica indiretamente o desempenho da mistura quanto a sua perda de abatimento. Parâmetro essencial para uma análise do desempenho do aditivo consequente da interação da mistura com o aditivo utilizado. Resultado importante para

compreender como a mistura se comportará ao chegar numa obra após deslocamento central – obra.

- **Diâmetro médio no abatimento final, após correção de água:** medida que indica indiretamente o desempenho final da mistura no estado fresco. Resultado importante para compreender como será feita a redosagem da mistura em obra, caso haja necessidade.
- **Massa específica:** medida que indica indiretamente a incorporação de ar na mistura. Resultado essencial para prever o desempenho mecânico da mistura no estado endurecido.
- **Relação água/cimento:** medida que indica indiretamente a resistência mecânica do material em estado endurecido. Resultado essencial para compreender a qualidade da mistura e consequentemente o desempenho do agregado miúdo testado.
- **Índice de Fluidiez:** medida que indica indiretamente o desempenho da mistura no estado fresco. Este índice foi proposto por Weidmann 2008 e é definido como a relação entre o espalhamento (mm) e o MF do agregado miúdo utilizado na mistura, para uma mesma relação a/c. Resultado que melhor representa a trabalhabilidade da mistura, pois leva em conta o espalhamento final e a consistência e coesão.
- **Relação Índice de Fluidiez/(água/cimento):** medida que indica indiretamente o desempenho da mistura no estado fresco. Resultado que melhor representa a trabalhabilidade da mistura levando em consideração a metodologia imposta, onde o abatimento visual é fixado e a água é variável.

No ensaio comparativo de Resistência à Compressão, deve ser analisada a tensão de ruptura dos corpos de prova das amostras. A partir deste valor, é calculado o valor da resistência à compressão característica (f_{ck}) dos traços, assim sendo possível fazer uma comparação com o valor de f_{ck} desejado.

A análise final dos resultados não é determinística. Os resultados, a princípio, podem apenas ser interpretados de maneira comparativa entre eles. Sabe-se que um mesmo traço pode acabar por ter variações reológicas dependendo da maneira como é misturado (em argamassadeira, betoneira ou caminhão betoneira). Porém, através de correlações entre os resultados obtidos nos ensaios do método e testes em escala industrial, é possível garantir uma análise sólida e fundamentada para uma avaliação da viabilidade técnica dos materiais testados no método.

7 ESTUDO DE CASO

7.1 APRESENTAÇÃO

O estudo de caso foi iniciado no interior do estado do Paraná, na Região interiorana, aos arredores da cidade de Guarapuava. Primeiramente, apenas uma jazida, da cidade de Inácio Martins, seria avaliada para uma possível exploração. Porém, após análise dos primeiros resultados, o estudo estendeu-se para uma segunda possível jazida a ser explorada, na região de Ibema.

A motivação inicial para o desenvolvimento de um agregado miúdo a partir do processamento de jazidas de arenito foi o custo final das areias naturais utilizadas nas centrais da região. O alto valor do frete, devido a grande distância entre fornecedores de areias naturais e as centrais de concreto, foi fator determinante para buscar-se alternativas mais viáveis do ponto de vista econômico.

A ideia para a criação de uma metodologia para analisar a viabilidade de exploração de jazidas de arenito para produção de agregado miúdo para concreto veio através dos resultados obtidos neste estudo de caso. A princípio, o estudo era apenas voltado para o desenvolvimento do material que seria produzido e também um desenvolvimento de traços de concretos, os quais seriam utilizados na central de concreto que viria a utilizar a areia de arenito como parte da composição nas suas misturas de concreto. Porém, a partir do momento que os resultados obtidos no estudo até então começaram a indicar uma possibilidade de inviabilidade do material ser utilizado com a finalidade desejada, mostrou-se necessária a criação de estudo que indicasse preliminarmente o potencial de exploração de jazidas de arenito para produção de agregado miúdo em concreto.

O desenvolvimento do estudo se deu dentro do período de dezembro de 2017 até julho de 2018. A bateria de ensaios era feita mensalmente, tanto em betoneira quanto argamassadeira, afim de analisar as mudanças impostas no processamento das jazidas ao longo do tempo e também o desenvolvimento gradual dos traços diante a mudanças dos materiais e aos resultados obtidos nos ensaios. A cada mês, toda parte de caracterização e preparo dos materiais era repetida, e os ensaios comparativos seguiam o curso natural de desenvolvimento da mesma forma proposta pela metodologia.

7.2 MATERIAIS

7.2.1 Extração e Preparo das amostras de areia de arenito e Caracterização dos Materiais

Os materiais utilizados neste estudo foram caracterizados conforme o item 6.2 *Escolha dos Materiais Referência e Caracterização dos Materiais*, para, a partir dos resultados de massa específica, análise granulométrica, módulo de finura e índice de

pulverulento, tomar-se decisões para a formulação dos traços a serem testados e comparados nos ensaios comparativos propostos pela metodologia. A caracterização também pode ser relevante para a compreensão dos resultados obtidos destes mesmos ensaios.

Quanto ao processo de extração, em relação a algumas amostras coletadas na jazida de Inácio Martins na fase inicial do estudo, não se sabe ao certo o método utilizado. Já nas amostras da jazida de Ibema foi utilizado o SPT, método sugerido pela metodologia, exposto no item 6.1 *Extração dos materiais e Preparo das amostras*.

Para o preparo das amostras de areia de arenito, foi necessário ser feita uma série de lavagens com o propósito de simular um material já processado, haja vista que as jazidas estudadas neste trabalho estavam em fase preliminar à criação de um areal para produção de agregado miúdo para concreto. O procedimento utilizado para o preparo foi o mesmo proposto pela metodologia de acordo com os item 6.1 *Extração das Amostras e Preparo dos Materiais*.

Tabela 3 - Síntese da Caracterização das amostras de areias utilizadas no Estudo

Amostras de areia	Origem	Módulo de Finura	Teor Pulverulento	Massa Específica
Ref. Guaíra	Areia de Rio Guaíra	1,756	0,12	2,611
A. Branca lav. inicial betoneira	Arenito Inácio Martins	0,928	6,49	2,571
A. Branca primeira lavagem	Arenito Inácio Martins	1,065	2,21	2,571
A. Branca segunda lavagem	Arenito Inácio Martins	1,066	2,21	2,571
A. Vermelha lav. Inicial betoneira	Arenito Inácio Martins	0,662	5,85	2,593
A. Vermelha primeira lavagem	Arenito Inácio Martins	0,769	3,31	2,571
A. Vermelha segunda lavagem	Arenito Inácio Martins	0,699	2,76	2,571
A. Hobby	Arenito Hobby	1,192	2	2,571
A. Ciclone	Arenito Inácio Martins	1,152	2,91	2,571
Areia Rosa SP	Arenito São Paulo	1,254	1,82	2,638
Areia Cysi Duna	Duna Albardão Fpolis	1,014	0,12	2,637
Areia Rosa Inácio M. Grossa lav. Lab.	Arenito Inácio Martins	1,745	0,2	2,571
Areia Rosa Inácio M. Fina lav. Lab.	Arenito Inácio Martins	0,83	2,4	2,571
Ibema 1	Arenito Ibema	1,25	1,14	2,572
Ibema 2	Arenito Ibema	1,39	1,48	2,592
Ibema 3	Arenito Ibema	1,12	1,32	2,506
Ibema 4	Arenito Ibema	1,49	2,07	2,578
Ibema 5	Arenito Ibema	0,88	2,36	2,648
Ibema 6	Arenito Ibema	0,84	3,69	2,614
Ibema 7	Arenito Ibema	0,89	1,93	2,6

7.2.2 Desenvolvimento dos Traços

O desenvolvimento dos traços no estudo foi de acordo com o que a metodologia propõe no item 6.3 *Desenvolvimento de Traços*. Como a empresa interessada pelo estudo era uma concreteira com centrais na região, em Francisco Beltrão e em Guarapuava, os traços referências escolhidos foram os traços de linha da Central de Francisco Beltrão com mais demanda no mercado.

7.3 ENSAIOS COMPARATIVOS

Durante todo período do estudo, foi feita uma série de ensaios comparativos. Os procedimentos utilizados foram de acordo com o que a metodologia propõe. A cada visita, os ensaios tinham objetivos diferentes, tanto na parte de desenvolvimento de traço quanto na parte de análise de desempenho das amostras diante às mudanças nos traços. Após as visitas, os materiais testados eram coletados e levados para Florianópolis, onde foram feitos os estudos em argamassadeira, com o objetivo validar a metodologia através da correlação entre os ensaios em betoneira e argamassadeira.

7.3.1 Jazida de Inácio Martins

Figura 7 - Jazida Inácio Martins



A Jazida de Inácio Martins era a primeira opção para exploração e produção de agregado miúdo. Primeiramente foram feitos ensaios comparativos preliminares para se obter um diagnóstico rápido do material. Devido a urgência por resultados, estes ensaios não seguiram estritamente a metodologia, alguns parâmetros como o teor ótimo de argamassa foram estimados através da experiência do consultor responsável pelo estudo.

Foram preparados concretos com traços semelhantes aos empregados na central de Francisco Beltrão, que utiliza a areia natural de Guaíra. No traço de referência (Tabela A1) e com areia de britagem com corte parcial da granilha (Tabela A2), manteve-se o proporcionamento da central de Francisco Beltrão. No caso do uso das areias de ciclone (Tabelas A3 e A4), por se tratar de areias bem mais finas do que a de Guaíra, resolveu-se aumentar o teor de areia de britagem (60% do agregado miúdo em volume) visando a redução de custos uma vez que a areia de britagem é produzida junto as centrais de

concreto. O volume de agregado miúdo e o teor de aditivo da mistura foram mantidos constantes em todos os casos (PRUDÊNCIO JR., R1, 2018).

Os materiais testados foram coletados para o estudo em argamassa. Algumas amostras foram alteradas através de lavagens, para se estimar o desempenho das areias diante à mudanças nos teores de pulverulento. Também foi incluída uma amostra de uma areia (Hobby) com características semelhantes á das areias de arenito, com um módulo de finura menor que o da areia natural de Guaira e, de certa forma, semelhante às areias de arenito da jazida de Inácio Martins.

Tabela 4 - Síntese dos resultados obtidos nos ensaios em argamassa na Etapa Preliminar.

Traço	Amostra	M. Finura	% pulv.	Água Final(g)	Flow 30(cm)	a/c final	a/c final corrigida*	% Argila
1	Ref. Guaira	1,756	0,12	350,4	32,5	0,51	0,51	0,17
2	A. Branca lav. Inicial betoneira	0,928	6,49	474,9	30	0,72	0,79	2,07
3	A. Branca primeira lavagem	1,065	2,21	390,7	31	0,59	0,63	xxx
4	A. Branca segunda lavagem	1,066	2,21	366,7	30	0,56	0,76	xxx
5	A. Vermelha lav. Inicial betoneira	0,662	5,85	522,9	30,3	0,82	0,88	3,18
6	A. Vermelha primeira lavagem	0,769	3,31	478,5	32	0,75	0,77	xxx
7	A. Vermelha segunda lavagem	0,699	2,76	406	30,7	0,64	0,67	xxx
8	A. Hobby	1,192	2	371,1	33,4	0,56	0,55	0,17

Os ensaios comparativos para determinação da proporção ótima na composição de areia de arenito e areia de britagem e do teor ótimo de argamassa foram feitos posteriormente. Os procedimentos usados foram de acordo com os itens 6.4.2 *Determinação do teor ótimo de argamassa na mistura* e 6.4.3 *Determinação da proporção ótima na composição de areia de arenito e areia de britagem*. Durante esta etapa de estudo, pelo desempenho no estudo preliminar em relação às areias de coloração vermelha, foi escolhido extrair-se areia de arenito branca para se fazer uma produção piloto através do ciclone já instalado na jazida.

Foram preparados concretos variando-se o teor de argamassa e a proporção entre areia de ciclone e areia industrial. No traço de referência (Tabela A15), manteve-se o proporcionamento da central de Francisco Beltrão. Neste caso, o teor volumétrico de argamassa era de 54,47% e o teor volumétrico da areia natural no agregado miúdo era de 61,84%. No caso do uso da areia de ciclone, por se tratar de areias bem mais finas do que a de Guaira empregadas no concreto de referência, resolveu-se diminuir o seu teor volumétrico para 50% (Tabela A16), 40% (Tabela A17) e 30% (Tabela A18). Mantendo-se estes mesmos teores, variou-se também o teor volumétrico da argamassa para 52% (Tabelas A19 A20 e A21). O Traço da Tabela A22 foi produzido com o teor volumétrico de argamassa e a proporção volumétrica entre areia de ciclone – neste caso a da Hobby por ter apresentado um bom desempenho em estudos anteriores - e areia industrial idênticos ao do Traço 6 que havia mostrado as melhores características no estado fresco (coesão e envolvimento do agregado graúdo). Essas alterações no proporcionamento do concreto referência (Tabela A15) visavam a melhoria de desempenho (redução da demanda de água das misturas) e redução de custos uma vez que a areia de britagem é produzida junto as centrais de concreto por pedreiras pertencentes à Dalba. O teor de

aditivo das misturas foi mantido constante em todos os casos (PRUDÊNCIO JR., R3,2018).

Tabela 5 - Síntese dos resultados obtidos em betoneira para desenvolvimento de traço.

Traço	Amostra	M. Finura	% pulv.	Água Final(Litros)	Slump Final(cm)	a/c final	Res. Comp. 7 dias(Mpa)	Res. Comp. 28 dias(Mpa)
1	Ref. Guaíra Alfa 54,5	1,756	0,12	175	12,5	0,6	24,4	40,6
2	Areia Ciclone 50% Alfa 54,5	1,152	2,91	230	11,5	0,83	8,5	15,3
3	Areia Ciclone 40% Alfa 54,5	1,152	2,91	210	10	0,74	13,6	22
4	Areia Ciclone 30% Alfa 54,5	1,152	2,91	207	10,5	0,73	13,4	21,9
5	Areia Ciclone 50% Alfa 52,0	1,152	2,91	220	10,5	0,78	10,8	18,7
6	Areia Ciclone 40% Alfa 52,0	1,152	2,91	209	10,5	0,74	12,8	21,5
7	Areia Ciclone 30% Alfa 52,0	1,152	2,91	201	10,5	0,71	15,2	24,9
8	A. Hobby 40% Alfa 52,0	1,192	2	178	10	0,61	24,3	41,4

A última bateria de ensaios comparativos da jazida, a priori, foi feita através de duas etapas. Primeiramente, para um reforço na análise dos resultados, foi incluído mais duas amostras como referência, uma areia também produzida por ciclone de uma jazida de arenito do estado de São Paulo e outra areia fina de duna muito utilizada pelas Centrais de Concreto da região litorânea de Santa Catarina. A segunda etapa consistiu em ensaios comparativos para determinação do aditivo de maior desempenho, cujos foram executados de acordo com o item 6.4.4 *Determinação do aditivo de melhor desempenho*.

Na primeira fase desta etapa do estudo, a partir de alguns dos materiais caracterizados em relatórios passados (areia natural de Guaíra, areia industrial de Francisco Beltrão com corte parcial do teor retido na peneira 2,4mm, areia de ciclone da produção piloto de novembro do areal da Dalba de Inácio Martins, britas 0 e 1 de Francisco Beltrão) além de 2 novas areias finas (areia rosa de São Paulo e fina do Albardão – Grande Florianópolis) e aditivo polifuncional PN 786 SA foram preparados concretos com o objetivo de comparar-se o desempenho de diferentes areias naturais/ciclone quando usadas em consórcio com areia industrial para formar o agregado miúdo do concreto.

No traço de referência (Tabela A23), manteve-se o proporcionamento da central de Francisco Beltrão (fck 25MPa, britas 0 e 1 e abatimento de 12±2cm). Neste caso, o teor volumétrico de argamassa era de 54,47% e o teor volumétrico da areia natural no agregado miúdo era de 61,84%. No caso do uso das outras areias (Rosa – Figura A20, Albardão – Figura A21 e da produção do areal de Inácio Martins), por serem bem mais finas do que a de Guaíra empregada no concreto de referência, resolveu-se manter o seu teor volumétrico no agregado miúdo em 40% bem como o teor volumétrico da argamassa em 52% devido aos excelentes resultados obtidos com a areia fina da Hobby. No caso das areias de Inácio Martins, testou-se uma amostra com um baixo teor de material pulverulento (1,5% obtido em laboratório) e outra com 1,8% semelhante ao da areia Rosa de São Paulo. O teor de aditivo das misturas foi mantido constante em todos os casos. Na segunda etapa dos estudos realizados durante a visita de fevereiro de 2018, testou-se comparativamente o desempenho de vários aditivos polifuncionais a base de lignossulfonato provenientes de diversos fornecedores, para ver se algum deles apresentaria um melhor desempenho em concretos utilizando a areia de ciclone de Inácio Martins. Nestes ensaios, a amostra de areia de ciclone que continha 1,5% de material

pulverulento e manteve-se constante o seu teor volumétrico no agregado miúdo em 40% bem como o teor volumétrico da argamassa em 52% (PRUDENCIO JR., R4,2018).

Tabela 6 - Síntese dos resultados obtidos em betoneira para reforço de comparação entre areias.

Traço	Amostra	M. Finura	% pulv.	Água Final(Litros)	Slump Final(cm)	a/c final	Res. Comp. 7 dias(Mpa)	Res. Comp. 28 dias(Mpa)
1	Ref. Guairá Alfa 54,5	1,756	0,12	178	10	0,61	26,6	42,7
2	Areia Ciclone 40% Alfa 52 lav. Lab.	1,152*	0,8	211	10	0,75	13,4	20,7
3	Areia Rosa SP 40% Alfa 52	1,254	1,82	176	10,5	0,61	27,7	42,4
4	Areia Cysí Duna 40% Alfa 52	1,014	0,12	180	10	0,62	26,5	41,5
5	Areia Ciclone alterada 40% Alfa 52	1,152*	1,82	215	10	0,77	13,9	22,2

**Valores de módulo de finura da Areia Ciclone produção piloto com teor de 2,9% de pulverulento.*

Figura 8 - Resistência à compressão dos concretos de diferentes traços aos 7 dias variando-se o tipo de aditivo redutor de água

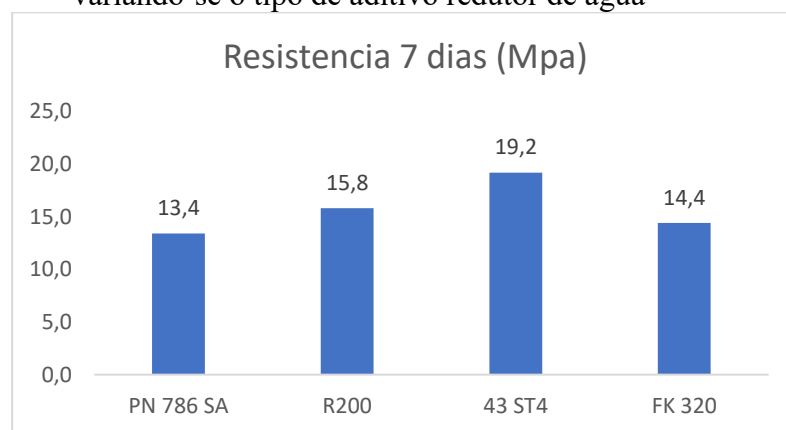
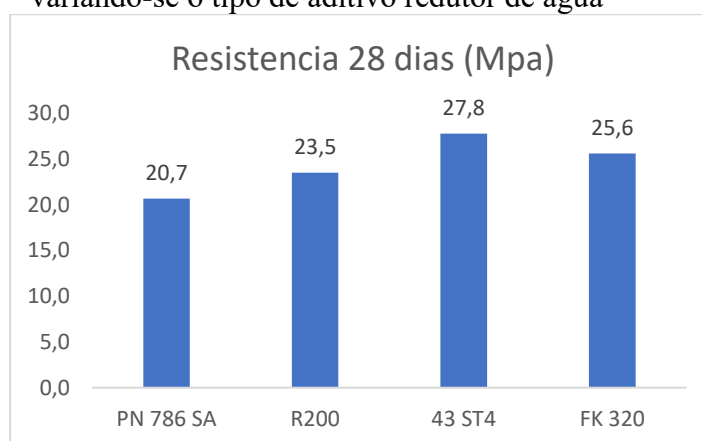


Figura 9 - Resistência à compressão dos concretos de diferentes traços aos 28 dias variando-se o tipo de aditivo redutor de água



Devido aos ensaios satisfatórios e o investimento já feito, amostras foram novamente coletadas, porém em pontos da jazida não analisados até então e com muita mais cautela na extração, para obter-se uma avaliação definitiva. Foi feito um estudo

comparativo em argamassa de acordo com o procedimento da metodologia, exposto no item 6.4.1.1 *Procedimento em argamassadeira*. Após o ensaio de consistência ser realizado, foram moldados 2 corpos de prova por amostra para ser feito o ensaio a compressão posteriormente, de acordo com o item da metodologia 6.5 *Ensaio Comparativo de Resistência à Compressão*.

Tabela 7 - Síntese dos resultados obtidos no ensaio comparativo em argamassa das novas amostras de Inácio Martins.

Traço	Amostra	M. Finura	% pulv.	Água Final(ml)	Flow 30(cm)	a/c final	Res. Comp. 29 dias(Mpa)
1	Areia Rosa SP	1,254	1,82	358,5	31,8	0,543	41,5
2	Areia Rosa Inácio M. Grossa lav. Lab.	1,745	0,2	366,7	31,9	0,555	41,56
3	Composição 72,7% Grossa 27,3% Fina	1,495	0,8	376,2	30,6	0,57	36,3
4	Areia Rosa Inácio M. Fina lav. Lab.	0,83	2,4	420,4	30,5	0,637	30,17
5	Composição 72,7% Grossa 27,3% Fina+Clarena	1,495	0,8	314,8	35*	0,477	42,17
6	Composição 50% Grossa 50% Fina+Clarena	1,288	1,3	305,3	36*	0,462	45,65

*Valores obtidos no Flow 20(após 20 golpes na mesa de flow).

A demais tabelas e figuras com as caracterizações dos materiais utilizados no estudo e resultados dos ensaios comparativos estão contidas no Anexo A.

7.3.2 Jazida de Ibema

Figura 10 - Jazida de Ibema



Em razão aos resultados, de certa forma não satisfatórios, obtidos no estudo feito em cima das amostras da Jazida de Inácio Martins, o estudo com amostras da jazida de Ibema veio a ser uma possível solução alternativa para a empresa contratante dos estudos e investidora do projeto.

O procedimento usado foi o mesmo sugerido pela metodologia no item 6.4.1 *Procedimento de ensaio*. Entretanto, devido a urgência por soluções, a metodologia não

foi seguida estritamente. A determinação do teor ótimo de argamassa e a proporção ótima na composição do agregado miúdo foram estimados através dos resultados obtidos no estudo da Jazida de Inácio Martins e também pela experiência do consultor responsável pelo estudo.

Foram coletadas amostras de acordo com o item 6.1 *Extração das Amostras e Preparo dos Materiais*. O estudo foi feito para avaliar o desempenho das amostras nas misturas diante um novo aditivo com mitigador de argila. O objetivo do estudo era, através dos ensaios comparativos, obter-se a comprovação final da origem do mau desempenho das areias de arenito das jazidas de arenito da região interiorana do Paraná.

Nesse estudo, foram utilizados: cimento CP IV – Itambé, areia industrial de Francisco Beltrão com corte parcial do teor retido na peneira 2,4mm, britas 0 e 1 de Francisco Beltrão (caracterização apresentada no Relatório 1) e aditivo polifuncional Exp cr 4966 com mitigador de argila da GPC.

Em todos os traços, manteve-se o proporcionamento volumétrico do traço (cimento:agregados) de 25MPa, Britas 0 e 1 e slump de 12±2cm ora empregado na central de Francisco Beltrão. O teor volumétrico de argamassa foi fixado em 52% e o teor volumétrico da areia de arenito no agregado miúdo em 40%. O Traço da Tabela A21, aqui considerado como o de referência, foi produzido com os mesmos teores volumétricos dos demais traços, e areia da Hobby em substituição às areias de arenito de Ibema, por ter apresentado um bom desempenho nos estudos apresentados nos Relatórios 1 e 2. O teor de aditivo das misturas foi mantido constante em todos os casos (0,6% em relação à massa de cimento)(PRUDÊNCIO JR., R5,2018).

Tabela 8 - Síntese dos resultados obtidos no estudo final em concreto.

Traço	Amostra	Água inicial (litros)	Slump Inicial (cm)	Slump após perda (cm)	Água Acrescida (litros)	Água final (litros)	Slump Final (cm)	a/c final
21	Hobby	159,9	21,0	5,0	13,9	174	11,5	0,60
16	1	196,5	8,0	6,0	21,2	218	12,0	0,77
17	2	183,7	10,0	4,5	27,8	212	11,5	0,74
18	3	196,6	13,0	5,0	24,1	221	11,0	0,78
19	4	212,5	11,0	4,5	33,2	246	13,5	0,88
20	5	175,6	20,0	7,0	12,9	189	11,0	0,65
24	6	171,1	22,0	6,5	14,9	186	13,5	0,64
25	7	163,0	18,0	7,5	14,6	178	13,0	0,61
22	1- Clarena	182,6	10,0	5,0	20,2	203	10,0	0,71
23	2- Clarena	173,0	17,5	6,5	12,9	186	11,5	0,64

Posteriormente, foi feito um ensaio comparativo em argamassa com os mesmos materiais a fim de se validar estudos em argamassa para traços de concreto através da correlação dos resultados entre os ensaios.

Tabela 9 - Síntese dos resultados obtidos no estudo final em argamassa.

Amostra	Água inicial(ml)	Flow 30 Inicial(cm)	Flow 30 após perda(cm)	Água Acrescida(ml)	Água Final(ml)	Flow 30 Final(cm)	a/c final
Hobby	330,8	35,8	28,9	15,8	346,6	32,9	0,52
1	410,9	30,5	26,5	36,4	447,3	30,4	0,68
2	401	32,2	28,9	21,5	422,5	31,8	0,64
3	443,6	33,5	29,4	22,1	465,7	32	0,7
4	493,5	30	31	59,9	553,4	31	0,84
5	347,1	33,8*	31,5	0	347,1	31,5	0,53
6	343,2	34,3*	31	0	343,2	31	0,52
7	337,7	34,2	28,9	12,4	350,1	32,2	0,53

*Resultados obtidos no Flow 20(abatimento após 20 golpes na mesa de flow.

As demais tabelas e imagens com as caracterizações dos materiais utilizados no estudo e resultados dos ensaios comparativos estão contidas no Anexo A.

7.4.3 ANÁLISE GERAL DOS RESULTADOS

Em relação as amostras extraídas em ambas jazidas, pode se observar a heterogeneidade do arenito. A importância do método de extração das amostras fica evidente com a análise dos resultados do estudo preliminar da jazida de Inácio Martins em relação aos resultados obtidos nas demais etapas do estudo. Em princípio, dentre as amostras coletadas para o estudo preliminar, as de areia de coloração vermelha foram consideradas as com piores desempenhos. Porém, após resultados nos estudos posteriores de novas amostras extraídas conforme a metodologia sugere, teve-se amostras de areia de coloração branca com piores desempenhos em relação às amostras de areia de coloração vermelha. Essa divergência de desempenho de supostamente uma mesma amostra em diferentes etapas pode ser atribuída a diferença de cuidado no momento da extração.

Em relação ao desempenho da maioria das amostras de areia de arenito, tanto da jazida de Inácio Martins quanto da jazida de Ibema, comparado às diferentes amostras adotadas como referência, pode se observar resultados abaixo do desejado em geral. Mesmo com o desenvolvimento dos traços com o avanço das etapas de ensaio, a grande maioria das misturas contendo areias de arenito demandaram uma quantidade de água elevada para se atingir a trabalhabilidade almejada. Consequentemente, estas misturas também não atingiram a resistência requisitada para garantia do suposto desempenho estrutural imposto pelo traço.

O mau desempenho das misturas poderia ser atribuído a diversos fatores – tipo de cimento, qualidade do aditivo, interação do aditivo e cimento, efeito de empacotamento, textura e granulometria dos agregados, quantidade de pulverulento na mistura, entre tantos outros. Porém, com a premissa da metodologia em fixar o maior número possível de parâmetros envolvidos no desempenho das misturas e variar um a um em cada etapa do estudo, e através das correlações entre os resultados dos ensaios, foi possível isolar os parâmetros um a um e detectar o parâmetro responsável pelo mau desempenho da maioria das misturas compostas com areias de arenito das jazidas de Inácio Martins e Ibema.

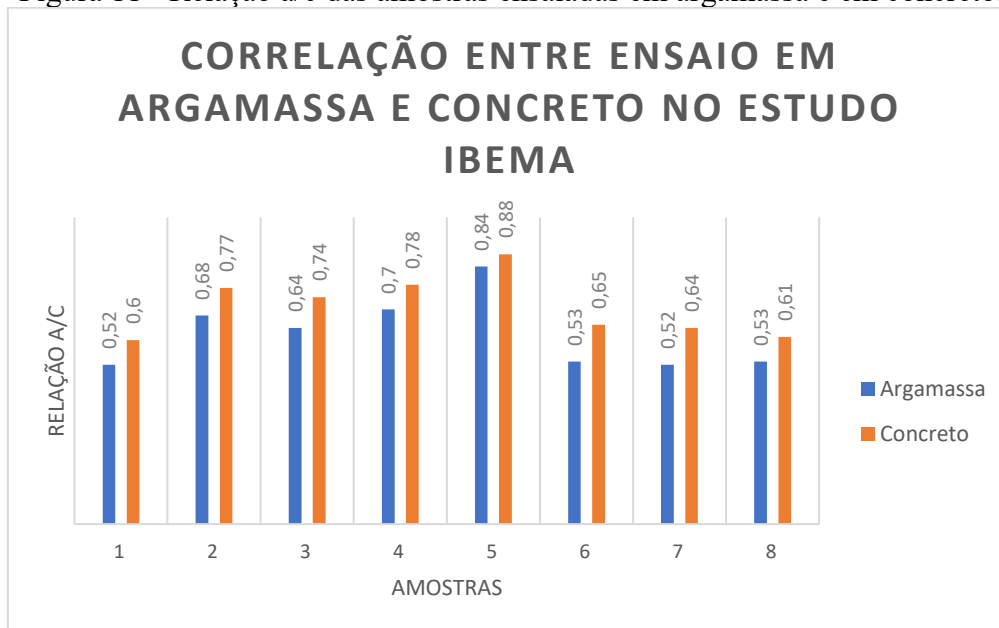
Com base nos resultados obtidos neste estudo, o mau desempenho da maioria das misturas compostas com areias de arenito das jazidas de Inácio Martins e Ibema foi atribuído principalmente às características mineralógicas do material pulverulento presente nas amostras, mais especificamente pela presença de bentonita nas amostras de areia de arenito. A correlação entre os resultados dos ensaios tanto de estado endurecido quanto fresco com o ensaio de composição química, e os testes com os aditivos com mitigadores de argila, foram determinantes para chegar a esta conclusão.

A viabilidade de exploração das jazidas de Inácio Martins e Ibema para produção de agregado miúdo para concreto de cimento Portland fica de certa forma comprometida. Algumas das alternativas seriam: a exploração dos veios de rocha que geraram as amostras com desempenho satisfatório; a inserção do mitigador de argila no processamento das areias. Para uma conclusão mais sólida, precisaria de uma análise de viabilidade econômica em relação a quantidade de material cujas amostras deram um resultado satisfatório a ser explorado e o custo de investimento para exploração, e também um estudo do impacto econômico no uso do mitigador na produção.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

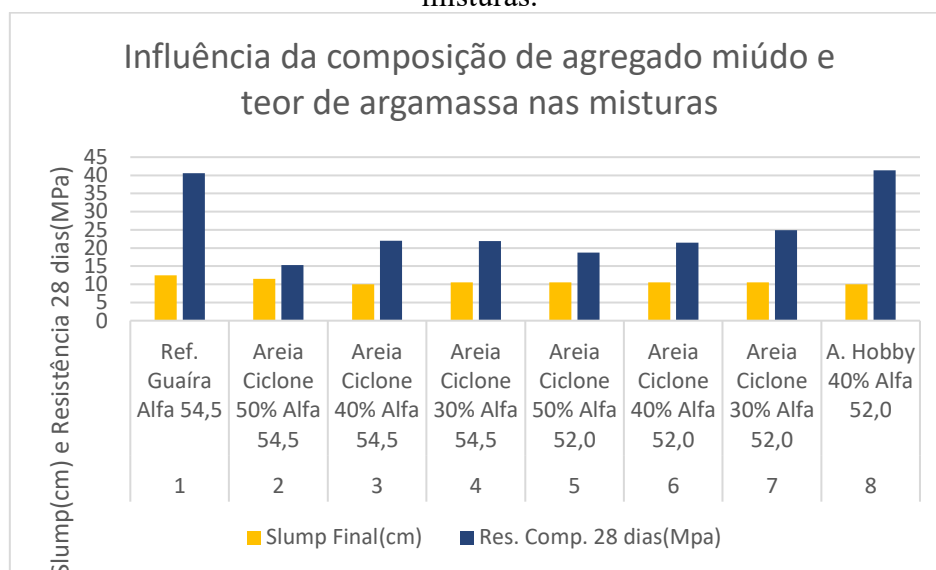
A coerência entre resultados obtidos nos procedimentos feitos de acordo com os itens 6.4.1.1 *Procedimento em argamassadeira* e 6.4.1.2 *Procedimento em betoneira* foram essenciais para se comprovar a eficácia de ensaios em argamassadeira para se testar traços de concreto. Pode se afirmar que, para efeitos comparativos, os agregados graúdos não tiveram relevância nos resultados de desempenho. Portanto, em casos de falta de tempo ou restrição ao uso de uma betoneira, o método garante resultados comparativos coerentes utilizando uma argamassadeira para grande maioria dos ensaios impostos pela metodologia. Inclusive, valores obtidos nos ensaios comparativos à compressão, tanto de corpos de prova moldados em concreto quanto em argamassa, foram extremamente coerentes em caráter comparativo e também quando correlacionados com os outros ensaios do método.

Figura 11 - Relação a/c das amostras ensaiadas em argamassa e em concreto.



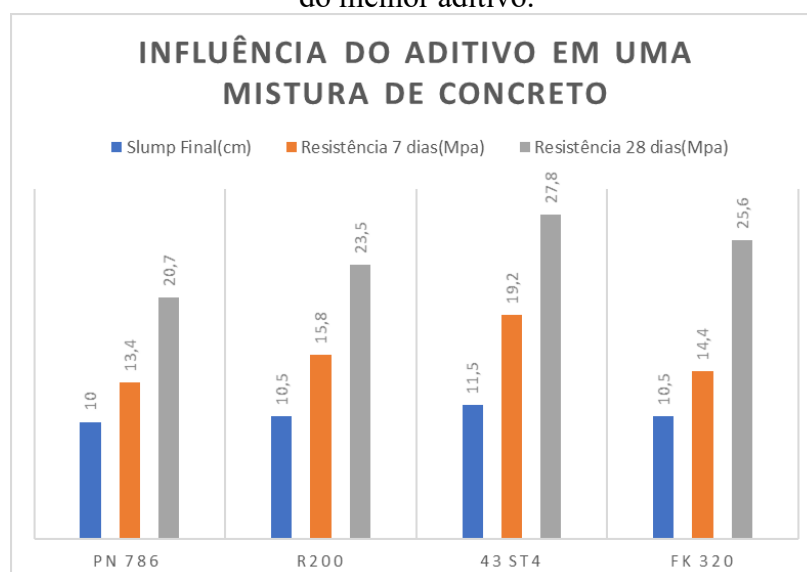
A determinação da proporção ótima na composição de agregados miúdos e do teor ótimo de argamassa teve seu papel no desenvolvimento dos traços, conforme o esperado. Diante aos resultados obtidos nos ensaios do estudo de caso, é possível observar a importância do desenvolvimento do traço de acordo com os materiais utilizados na mistura. Desta forma, fica a comprovação da eficácia dessa etapa do método, que tem como base as especificações normativas de agregados miúdos agregado a uma adaptação do método de composição de areias de Prudêncio Jr (2017), ambos expostos no item 4.3 *Considerações sobre as especificações normativas*.

Figura 12 - Influência da composição de agregado miúdo e teor de argamassa nas misturas.



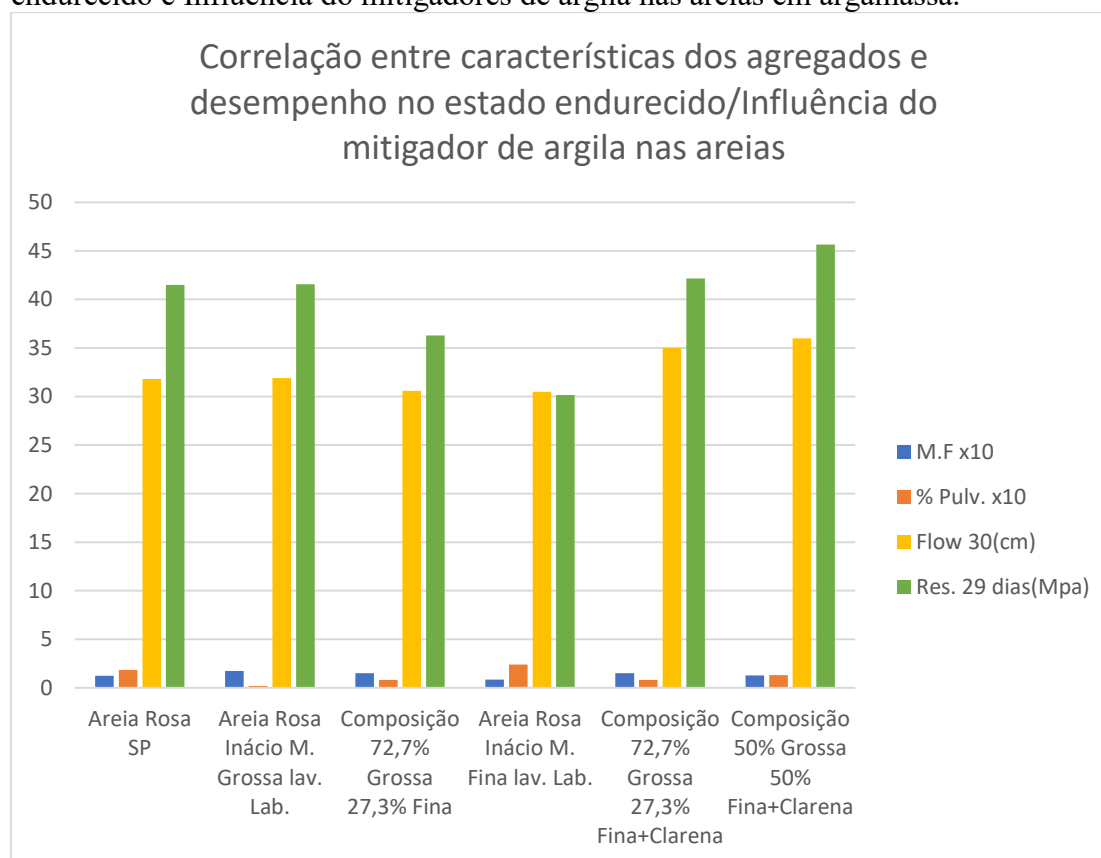
A variação de resistência entre os resultados obtidos no ensaio de compressão durante a etapa de determinação do aditivo com melhor desempenho afirma a importância desta etapa da metodologia. O primeiro ponto, já esperado, é a constatação de uma possível otimização de um traço com a mudança do aditivo. O segundo é a comprovação da influência da interação entre o agregado miúdo e aditivo no desempenho do concreto, tanto em estado fresco quanto endurecido. Este último ponto foi constatado através da variação da resistência de amostras idênticas depois da inclusão do mitigador de argila diretamente nos agregados. Pode-se observar a perda de rendimento do aditivo plastificante mediante a presença de argila nas amostras onde o agregado não foi tratado com o mitigador.

Figura 13 - Influência do aditivo em uma mistura de concreto na etapa de determinação do melhor aditivo.



O resultados obtidos nos ensaios comparativos de composição química feitos através dos *testes de azul de metileno*, realizados de acordo com o item 6.6 *Ensaio Comparativo de Composição Química*, foram extremamente eficazes para a comparação de alguns resultados obtidos nos ensaios comparativos de consistência, onde traços supostamente muito semelhantes tiveram desempenhos e consequentemente resultados muito distintos. Mesmo tendo amostras de areia com granulometria, módulo de finura, massa específica e teores de pulverulento semelhantes, os traços demandaram quantidade de água diferentes para mistura atingir o abatimento arbitrado como o ideal. Outro fator importante que já fora abordado anteriormente, porém reforça ainda mais a importância das características dos agregados, foi o efeito positivo causado pelo uso de mitigadores de argila diretamente nas areias, tanto em estado fresco quanto em estado endurecido. Todos estes resultados levam a crer que as características do pulverulento das amostras, a “qualidade”, podem ter mais relevância no desempenho da mistura que o teor de pulverulento, em certos casos.

Figura 14 - Correlação entre características dos agregados e desempenho no estado endurecido e Influência do mitigadores de argila nas areias em argamassa.



Portanto, a partir dos resultados obtidos no estudo de caso através da aplicação dos ensaios comparativos impostos pela metodologia, foi possível garantir a validação da metodologia criada neste trabalho para análise de viabilidade da exploração de jazidas de arenito para produção de agregado miúdo para uso em concretos de cimento Portland.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS **AASHTO TP57**: Standard Test Method for Methylene Blue Value of Clays, Mineral Fillers, and Fines. 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 6508**: Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 7211**: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR NM 45**: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR NM 52**: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Pini, 2008.
- NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. Trad. Salvador e. Giammusso. 2. Ed, São Paulo: Pini, 1997.
- PRUDÊNCIO JR., L.R. **Materiais de Construção Civil**. Notas de aula, Curso de Graduação em Engenharia Civil – UFSC, 2014.
- PRUDÊNCIO JR., L.R. **Assessoria Técnica na Otimização das Características de Areia de Ciclone e Estudo de Dosagem de Concretos**, Relatório 1, Florianópolis, 2018.
- PRUDÊNCIO JR., L.R. **Assessoria Técnica na Otimização das Características de Areia de Ciclone e Estudo de Dosagem de Concretos**, Relatório 3, Florianópolis, 2018.

PRUDÊNCIO JR., L.R. **Assessoria Técnica na Otimização das Características de Areia de Ciclone e Estudo de Dosagem de Concretos**, Relatório 4, Florianópolis, 2018.

PRUDÊNCIO JR., L.R. **Assessoria Técnica na Otimização das Características de Areia de Ciclone e Estudo de Dosagem de Concretos**, Relatório 5, Florianópolis, 2018.

PRUDÊNCIO JR., L.R. **Curso Técnico: Tecnologia do Concreto de Cimento Portland**, Material de Apoio, Florianópolis, 2017.

SEGUIO, K. **Geologia sedimentar**. São Paulo: Blucher, 2003.

WICANDER, R.; MONROE, J. R. **Fundamentos da geologia**. Trad. Avritcher. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

ISAIA, G. C. **A Evolução do Concreto Estrutural**. In: ISAIA, G. C. (Ed.) **Concreto: Ciência e Tecnologia Vol. 1**. IBRACON, São Paulo, 2011. Cap. 1. p. 1 – 56.

ANDRADE, J.J.O; TUTIKIAN, B.F. **Resistência Mecânica do Concreto**. In: ISAIA, G. C. (Ed.) **Concreto: Ciência e Tecnologia Vol. 1**. IBRACON, São Paulo, 2011. Cap. 17. p. 615 – 652.

ALMEIDA, S. L. M.; LUZ, A. B. **Manual de Agregados para Construção Civil**. CETEM/MCT, Rio de Janeiro, 2009

DAMO, G. F. **Avaliação do Desempenho de Diferentes Agregados Miúdos de Britagem em Concretos de Cimento Portland**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2011.

ANEXO A: CARACTERIZAÇÕES E RESULTADOS

A1 RESULTADOS DE INÁCIO MARTINS

A1.1 Estudo Preliminar

A1.1.1 Caracterização dos materiais

Segue abaixo a caracterização dos materiais utilizados no estudo em betoneira:

Figura 15 - (A.1) Caracterização da areia branca após lavagem em betoneira (primeira lavagem)

Areia Branca primeira lavagem

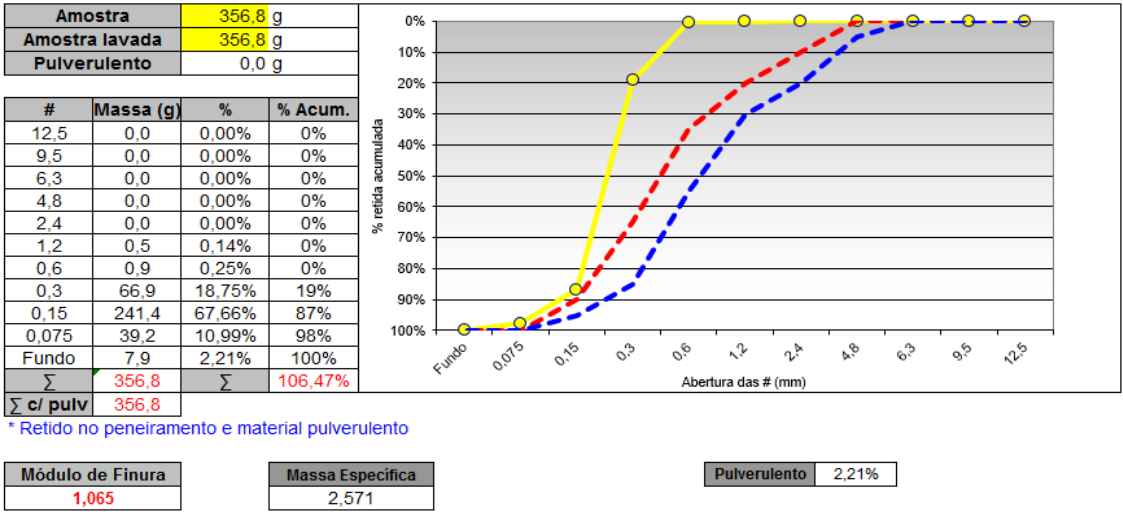


Figura 16 - (A.2) Caracterização da areia vermelha após lavagem em betoneira (primeira lavagem)

Areia Vermelha primeira lavagem

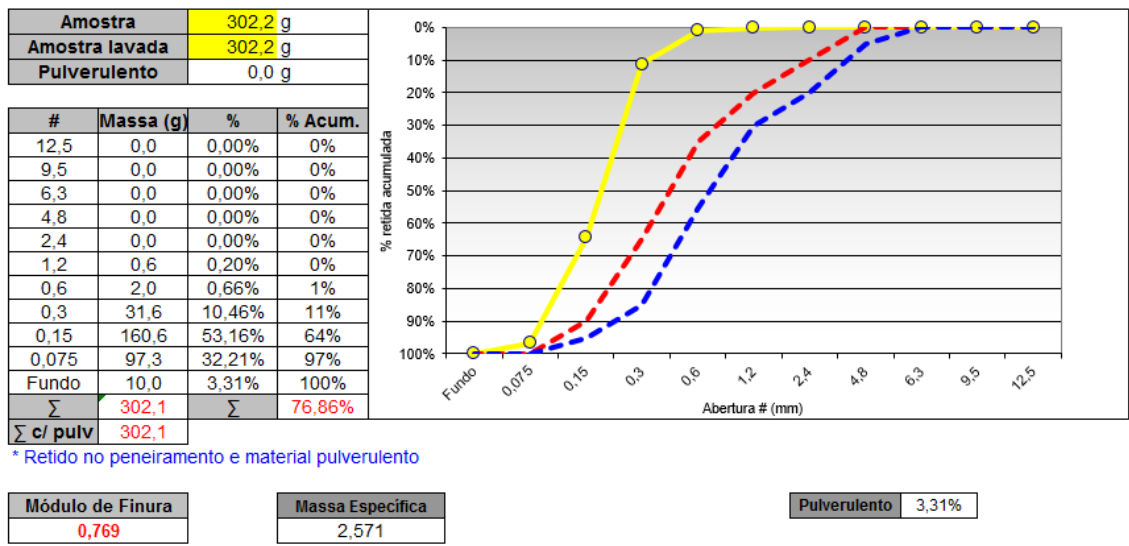


Figura 17 - (A.3) Caracterização da areia Natural de Guaíra

Areia Natural Guaira

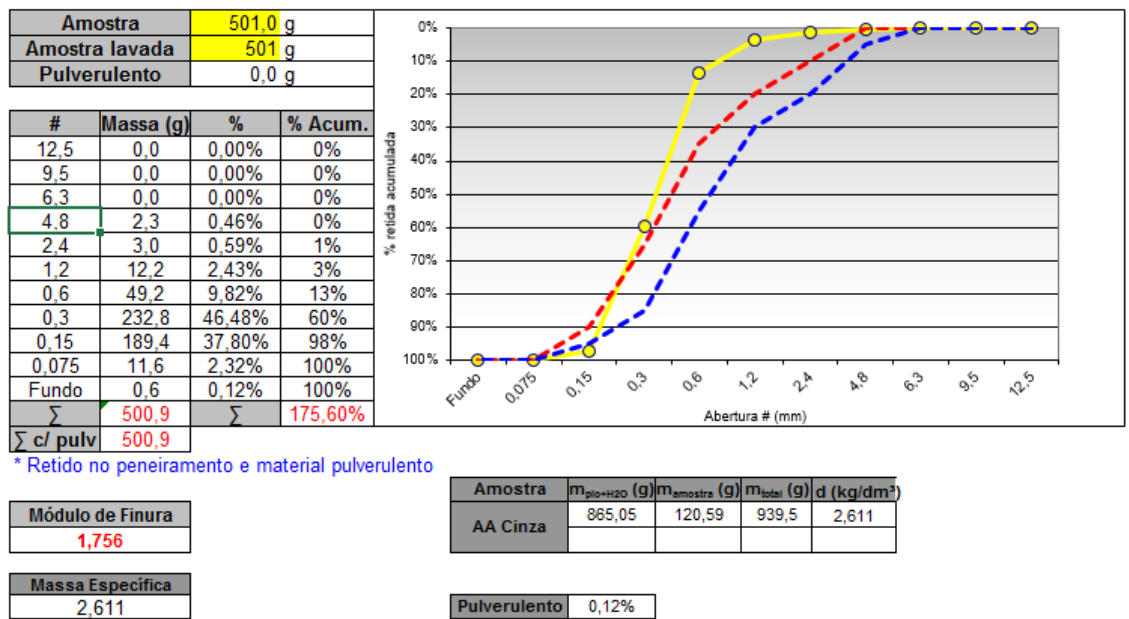
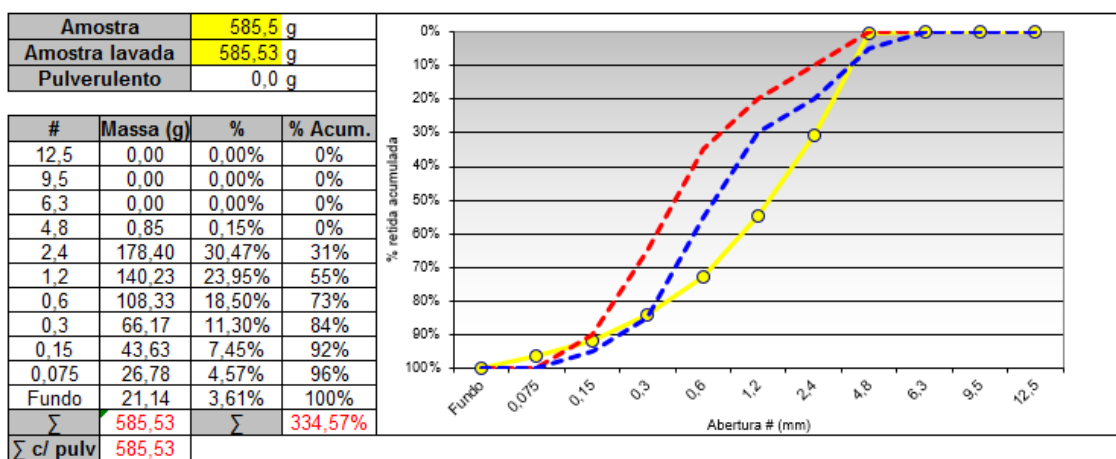


Figura 18 - (A.4) Caracterização da areia de britagem de Beltrão (granulometria original)
Areia Industrial Beltrão com granulometria original



* Retido no peneiramento e material pulverulento

Módulo de Finura
3,346

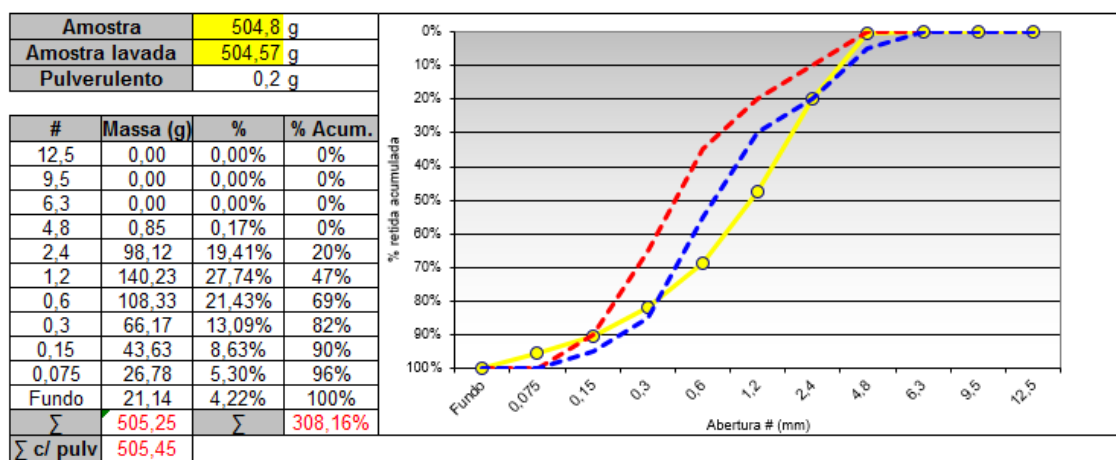
Massa Específica
2,956

Amostra	m _{plg+H2O} (g)	m _{amostra} (g)	m _{total} (g)	d (kg/dm³)
AA Cinza	865,05	154,14	967,1	2,956

Pulverulento	3,61%
--------------	-------

Figura 19 - (A.5) Caracterização da areia de britagem de Beltrão com o teor de material retido na # 2,4mm corrigido para 20%

Areia Industrial Beltrão com corte na #2,4



* Retido no peneiramento e material pulverulento

Módulo de Finura
3,082

Massa Específica
2,956

Amostra	m _{plg+H2O} (g)	m _{amostra} (g)	m _{total} (g)	d (kg/dm³)
AA Cinza	865,05	154,14	967,1	2,956

Pulverulento	4,22%
--------------	-------

Segue abaixo a caracterização dos materiais utilizados no estudo em argamassadeira:

Figura 20 - (A.6) Caracterização da areia natural de Guaíra usada na argamassa de referência

Areia Natural Guaíra

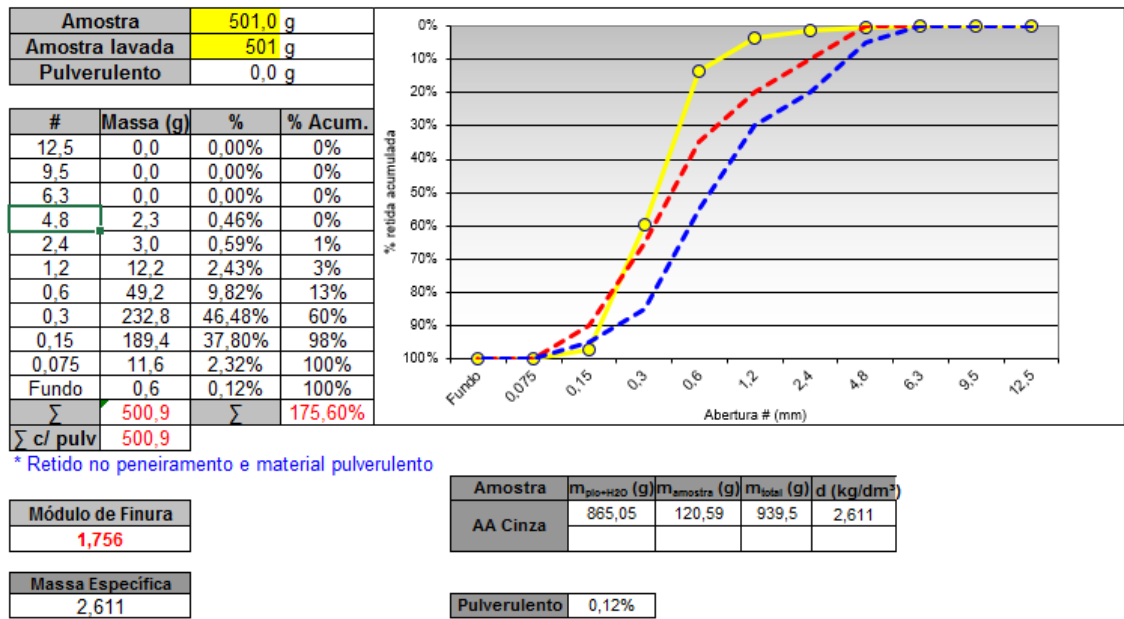


Figura 21 - (A.7) Caracterização da areia de britagem utilizada (original de Beltrão sem o material retido na # 2,4mm

Areia Industrial Beltrão com retirada de todo o % retido na # 2,4mm

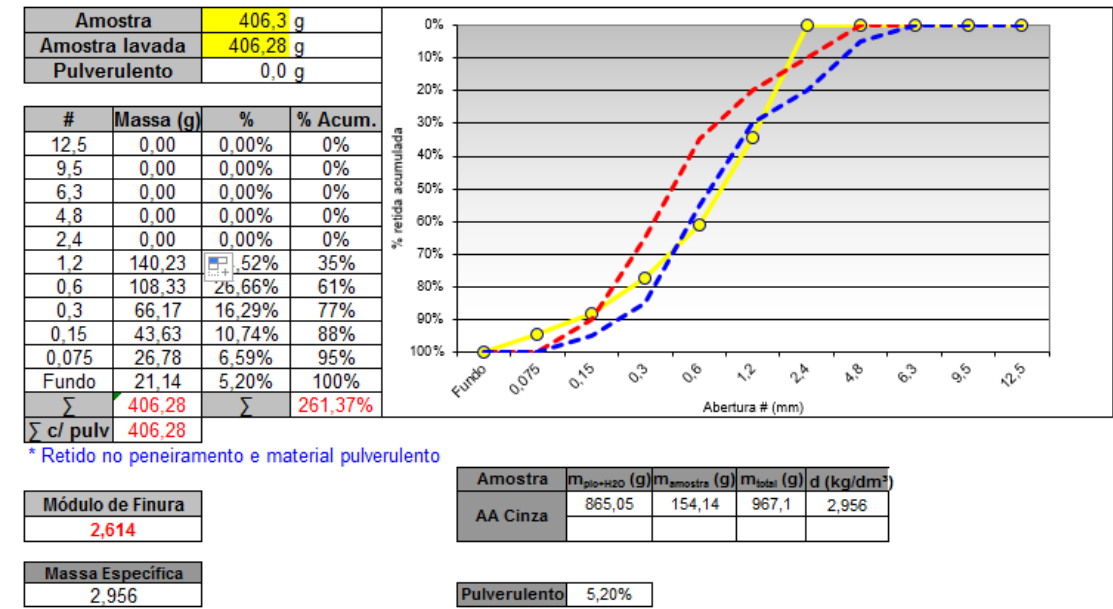
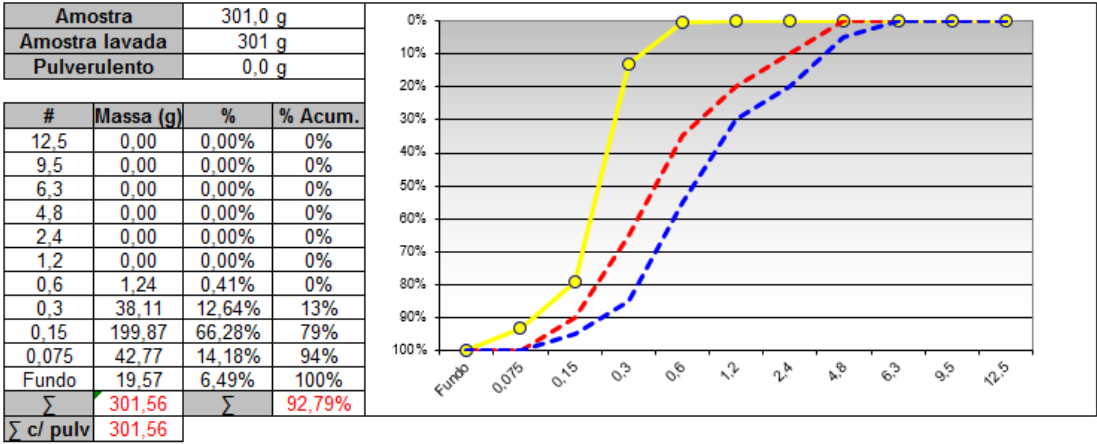


Figura 22 - (A.8) Caracterização da areia branca de arenito do areal de Inácio Martins – lavagem inicial em betoneira

Areia Fina Branca Inácio Martins - Lavação inicial em betoneira



Módulo de Finura
0,928

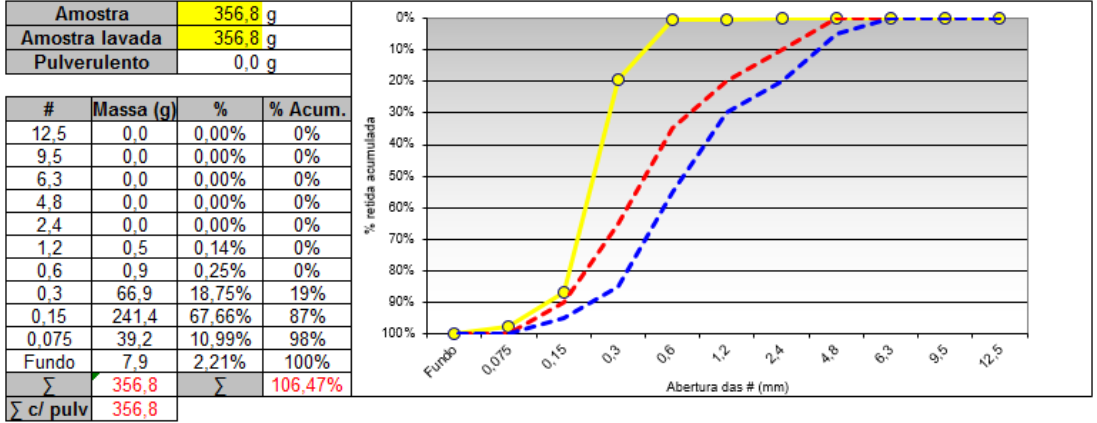
Massa Específica
2,571

Amostra	m _{plio+H2O} (g)	m _{amostra} (g)	m _{total} (g)	d (kg/dm³)
AA Cinza	864,33	251,43	1018,0	2,571

Pulverulento	6,49%
--------------	-------

Figura 23 - (A.9) Caracterização da areia branca de arenito do areal de Inácio Martins – primeira lavagem

Areia Fina Branca Inácio Martins - Primeira lavagem



Módulo de Finura
1,065

Massa Específica
2,571

Pulverulento	2,21%
--------------	-------

Figura 24 - (A.10) Caracterização da areia branca de arenito do areal de Inácio Martins – segunda lavagem

Areia Fina Branca Inácio Martins - Segunda lavagem

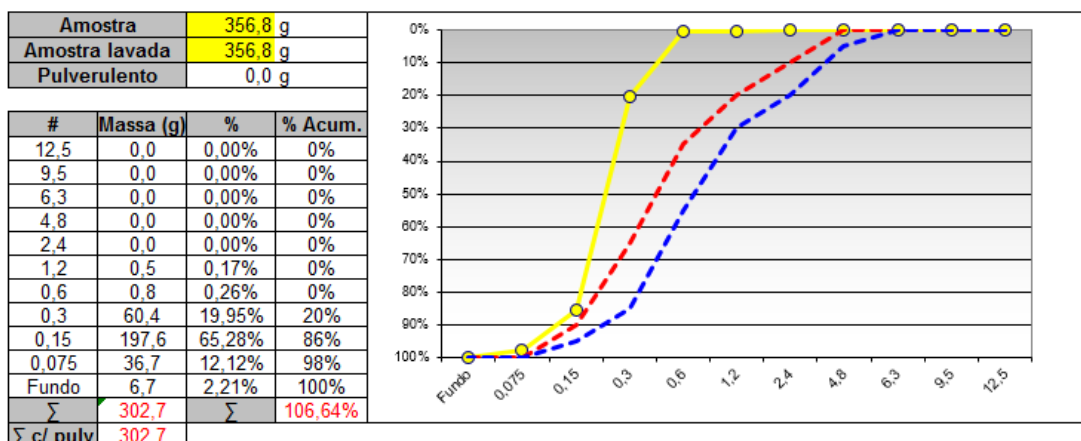
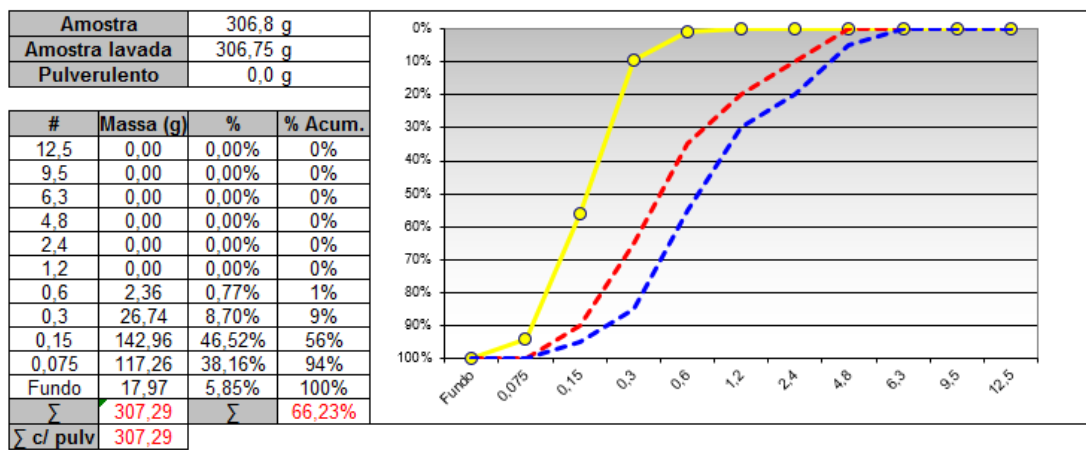


Figura 25 - (A.11) Caracterização da areia rosa de arenito do areal de Inácio Martins – lavagem inicial em betoneira

Areia Fina Rosa Inácio Martins - Lavação inicial em betoneira



Amostra	m _{pic+H2O} (g)	m _{amostra} (g)	m _{total} (g)	d (kg/dm³)
AA Cinza	865,05	111,16	933,3	2,593

Figura 26 - (A.12) Caracterização da areia rosa de arenito do areal de Inácio Martins – primeira lavagem

Areia Fina Rosa Inácio Martins - Primeira lavagem

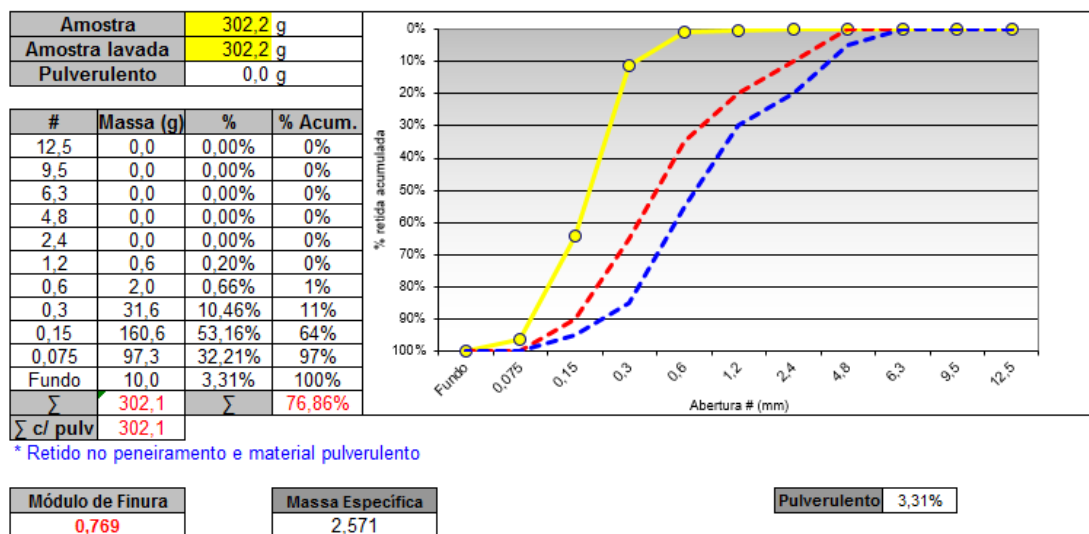


Figura 27 - (A.13) Caracterização da areia rosa de arenito do areal de Inácio Martins – segunda lavagem

Areia Fina Rosa Inácio Martins - Segunda lavagem

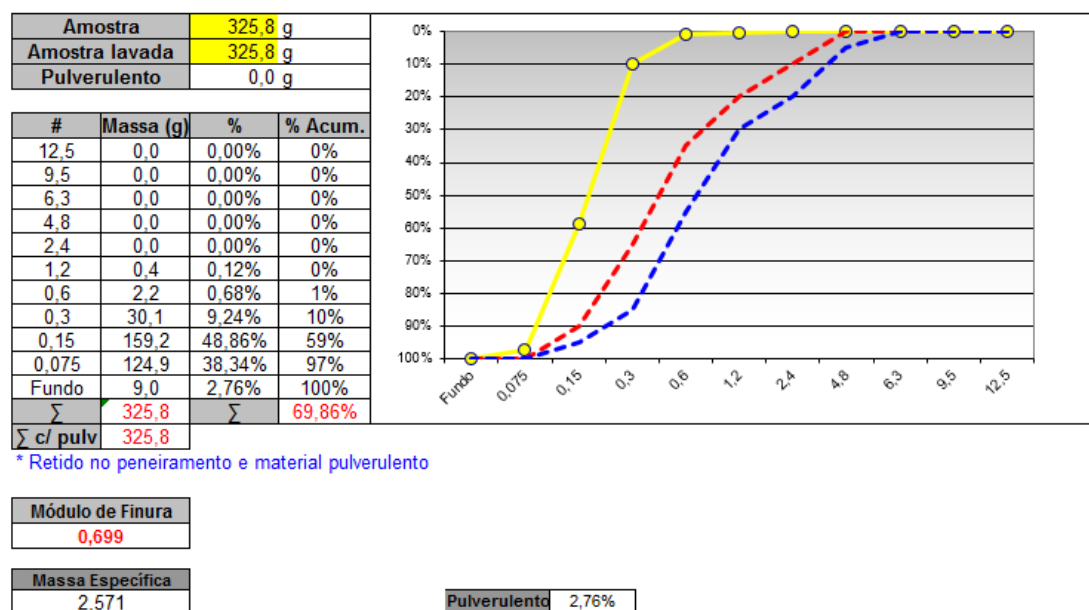
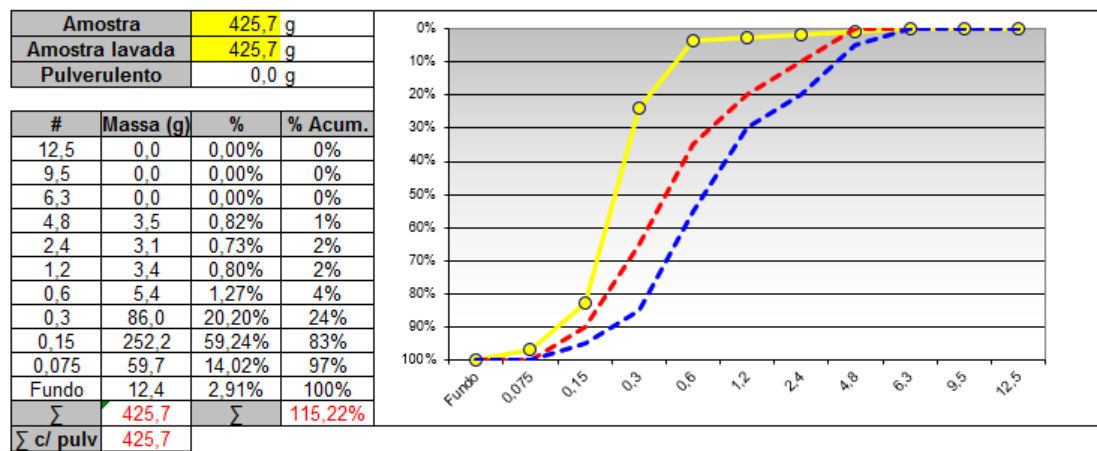


Figura 28 - (A.14) Caracterização da areia branca de arenito do areal de Inácio Martins – primeira produção piloto

Areia Fina Branca Inácio Martins - Primeira produção piloto



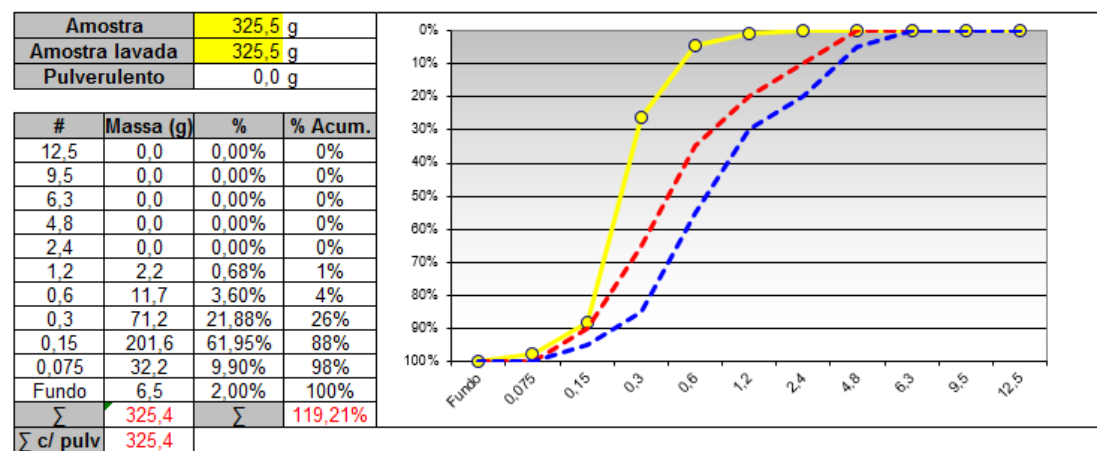
Módulo de Finura
1,152

Massa Específica
2,571

Pulverulento	2,91%
--------------	-------

Figura 29 - (A.15) Caracterização da areia branca de arenito do areal da Hobby

Areia Hobby



Módulo de Finura
1,192

Massa Específica
2,571

Pulverulento	2,00%
--------------	-------

OBS: Mat pulverulento lavado 3,5%

A1.1.2 Ensaios Comparativos

Segue abaixo os resultados dos ensaios comparativos de consistência, manutenção e massa específica no estudo em betoneira e suas respectivas resistências à compressão aos 7 e 28 dias:

Tabela 10 - (A1) Traço de referência (fck 25MPa) de Francisco Beltrão – areia de Guairá

	Traço Original Beltrão	d (kg/dm3)	Volume	Vol ag miudo	Massa p/ 20 litros
CP IV Itambé	282	2,82	100		5,64
AN Guaira	543	2,61	208,05	336,42	10,86
A Brit original	380	2,96	128,38		7,6
B0	365	2,94	124,15		7,3
B1	710	2,95	240,68		14,2
Água	175	1	175,00		3,5
Plast PN 786 SA	2,25	1,1	2,05		45
Soma	2457,25		978,30		
				Água adicional inicial (l)	0
				Slump inicial (cm)	16,5
				Slump após 15min (cm)	9
				Água adicional final (l)	0,162
				Massa específica (kg/m3)	2561,9
				Água/cimento final	0,649
	Traço Corrigido				
CP IV Itambé	293,6				
AN Guaira	565,40				
A Brit original	395,68				
B0	380,06				
B1	739,29				
Água	185,51				
Plast PN 786 SA	2,34				
Soma	2561,92				

Quantidade de aditivo em mililitros.

Tabela 11 - (A2) Traço de referência (fck 25MPa) de Francisco Beltrão – areia de britagem com corte na # 2,4mm e areia de Guaíra

	Traço Original c/ corte 2,4	d	Volume	Vol ag miudo	Massa p/ 20 litros
CP IV Itambé	282	2,82	100		5,64
AN Guaíra	543	2,61	208,05	336,42	10,86
A Brit c/ corte 2,4	380	2,96	128,38		7,6
B0	365	2,94	124,15		7,3
B1	710	2,95	240,68		14,2
Água	175	1	175,00		3,5
Plast PN 786 SA	2,25	1,1	2,05		45
Soma	2457,25		978,30		
				Água adicional inicial (l)	-0,053
				Slump inicial (cm)	16
				Slump após 15min (cm)	6
				Água adicional final (l)	0,188
				Massa específica (kg/m3)	2550,8
				Água/cimento final	0,645
	Traço Corrigido				
CP IV Itambé	292,2				
AN Guaíra	562,65				
A Brit original	393,75				
B0	378,21				
B1	735,69				
Água	185,95				
Plast PN 786 SA	2,33				
Soma	2550,77				

Tabela 12 - (A3) Traço com areia de ciclone branca lavada em laboratório (40% em volume do agregado miúdo).

	Traço areia branca	d	Volume	Vol ag miúdo	Massa p/ 20 litros
CP IV Itambé	282	2,82	100		5,64
Areia branca	345,8442373	2,57	134,57	336,42	6,916884747
A Brit c/ corte 2,4	597,4896552	2,96	201,85		11,9497931
B0	365	2,94	124,15		7,3
B1	710	2,95	240,68		14,2
Água	175	1	175,00		3,5
Plast PN 786 SA	2,25	1,1	2,05		45
Soma	2477,583893		978,30		
				Água adicional inicial (l)	0,7
				Slump inicial (cm)	9
				Slump após 15min (cm)	3
				Água adicional final (l)	0,7
				Massa específica (kg/m³)	2500,6
				Água/cimento final	0,869
	Traço corrigido				
CP IV Itambé	281,5				
Areia branca	345,26				
A Brit c/ corte 2,4	596,49				
B0	364,39				
B1	708,81				
Água	201,89				
Plast PN 786 SA	2,25				
Soma	2500,62				

Tabela 13 - (A4) Traço com areia de ciclone vermelha lavada em laboratório (40% em volume do agregado miúdo).

	Traço areia vermelha	d	Volume	Vol ag miúdo	Massa p/ 20 litros
CP IV Itambé	282	2,82	100		5,64
Areia rosa	348,5356322	2,59	134,57	336,42	6,970712644
A Brit c/ corte 2,4	597,4896552	2,96	201,85		11,9497931
B0	365	2,94	124,15		7,3
B1	710	2,95	240,68		14,2
Água	175	1	175,00		3,5
Plast PN 786 SA	2,25	1,1	2,05		45
Soma	2480,275287		978,30		
				Água adicional inicial (l)	1
				Slump inicial (cm)	8
				Slump após 15min (cm)	2,5
				Água adicional final (l)	1,2
				Massa específica (kg/m³)	13,0
				Água/cimento final	1,011
	Traço corrigido				
CP IV Itambé	267,5				
Areia rosa	330,56				
A Brit c/ corte 2,4	566,67				
B0	346,17				
B1	673,37				
Água	270,30				
Plast PN 786 SA	2,13				
Soma	2456,66				

Figura 30 - (A.16) Resultados de resistência à compressão aos 7 dias

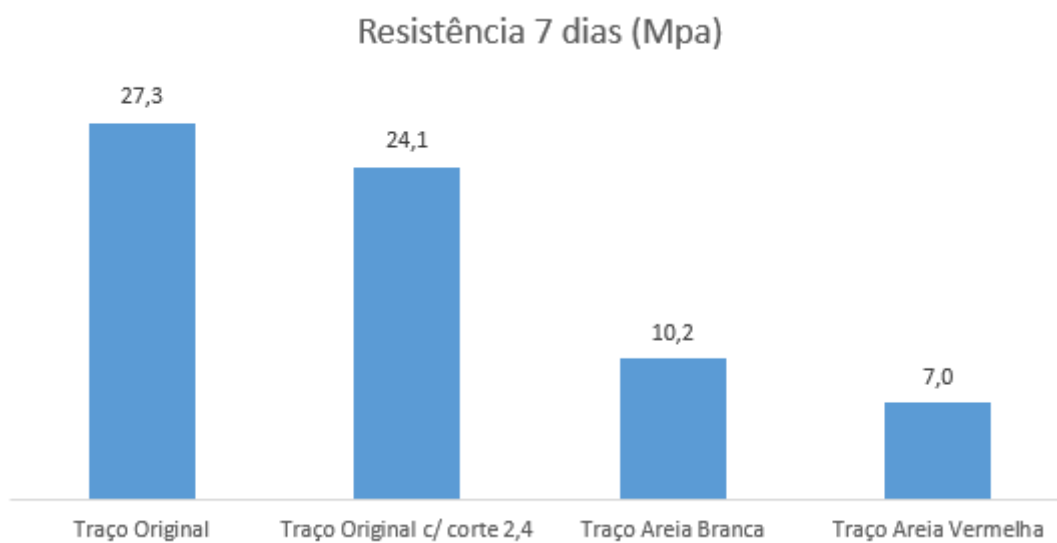
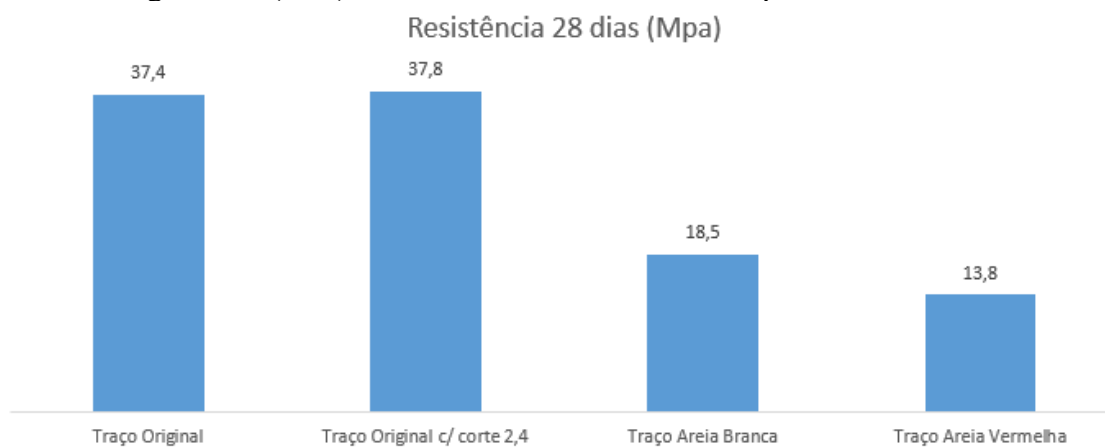


Figura 31 - (A.17) Resultados de resistência à compressão aos 28 dias



Segue abaixo os resultados dos ensaios comparativos de consistência, manutenção e massa específica no estudo em argamassadeira e também o ensaio comparativo de composição química das amostras:

Tabela 14 - (A5) Proporcionamento da argamassa 1 (referência com areia natural de Guaira), parâmetros de trabalhabilidade e massa específica

Argamassa 1	Massa (g)
Cimento CP IV Itambé	684,5
AN Guaira	1318,1
Areia britagem Beltrão com corte #2,4	922,4
Agua est função do estudo concreto	435,6
Aditivo Plast PN 786 SA	5,5
Agua efetivamente utilizada	350,4
Massa Recipiente sem tara	1081
Massa específica (kg/m ³)	2258,7
Flow 10 inicial	24,5
Flow 20 inicial	29,5
Flow 30 inicial	32,5
Agua final após ajuste visual flow	350,4
Flow 10 final	24,5
Flow 20 final	29,5
Flow 30 final	32,5
A/c final	0,51
A/c final corrigida	0,51

Tabela 15 - (A6) Proporcionamento da argamassa 2 (areia fina branca Inácio Martins – lavagem inicial em betoneira), parâmetros de trabalhabilidade e massa específica

Argamassa 2	Massa (g)
Cimento CP IV Itambé	660,2
Areia Branca lab	809,7
Areia britagem Beltrão com corte #2,4	1398,9
Água est função do estudo concreto	473,5
Aditivo Plast PN 786 SA	5,3
Água efetivamente utilizada	350,4
Massa Recipiente sem tara	1069,4
Massa específica (kg/m ³)	2234,4
Flow 10 inicial	18,4
Flow 20 inicial	21,5
Flow 30 inicial	23,3
Água final após ajuste visual flow	474,9
Flow 10 final	23,7
Flow 20 final	27,4
Flow 30 final	30
A/c final	0,72
A/c final corrigida	0,79

Tabela 16 - (A7) Proporcionamento da argamassa 3 (areia fina branca Inácio Martins – Primeira lavagem), parâmetros de trabalhabilidade e massa específica

Argamassa 3	Massa (g)
Cimento CP IV Itambé	660,2
Areia Branca lab + 1 lavagem	809,7
Areia britagem Beltrão com corte #2,4	1398,9
Água est função do estudo concreto	473,5
Aditivo Plast PN 786 SA	5,3
Água efetivamente utilizada	350,4
Massa Recipiente sem tara	1069,4
Massa específica (kg/m ³)	2234,4
Flow 10 inicial	21,3
Flow 20 inicial	25,1
Flow 30 inicial	28,4
Água final após ajuste visual flow	390,7
Flow 10 final	23,8
Flow 20 final	28
Flow 30 final	31
A/c final	0,59
A/c final corrigida	0,63

Tabela 17 - (A8) Proporcionamento da argamassa 4 (areia fina branca Inácio Martins – Segunda lavagem), parâmetros de trabalhabilidade e massa específica

Argamassa 4	Massa (g)
Cimento CP IV Itambé	660,2
Areia Branca lab + 2 lavagem	809,7
Areia britagem Beltrão com corte #2,4	1398,9
Água est função do estudo concreto	473,5
Aditivo Plast PN 786 SA	5,3
Água efetivamente utilizada	350,4
Massa Recipiente sem tara	1098,4
Massa específica (kg/m ³)	2295,0
Flow 10 inicial	22,5
Flow 20 inicial	27
Flow 30 inicial	29,7
Água final após ajuste visual flow	366,7
Flow 10 final	23
Flow 20 final	26,8
Flow 30 final	30
A/c final	0,56
A/c final corrigida	0,76

Tabela 18 - (A9) Proporcionamento da argamassa 5 (areia fina rosa Inácio Martins – Lavagem inicial em betoneira), parâmetros de trabalhabilidade e massa específica

Argamassa 5	Massa (g)
Cimento CP IV Itambé	635,4
Areia Rosa lab	785,3
Areia britagem Beltrão com corte #2,4	1346,3
Água est função do estudo concreto	512
Aditivo Plast PN 786 SA	5,1
Água efetivamente utilizada	350,4
Massa Recipiente sem tara	1045,7
Massa específica (kg/m ³)	2184,9
Flow 10 inicial	15,9
Flow 20 inicial	18,5
Flow 30 inicial	20,4
Água final após ajuste visual flow	522,9
Flow 10 final	24,3
Flow 20 final	28
Flow 30 final	30,3
A/c final	0,82
A/c final corrigida	0,88

Tabela 19 - (A10) Proporcionamento da argamassa 6 (areia fina rosa Inácio Martins – Primeira lavagem), parâmetros de trabalhabilidade e massa específica

Argamassa 6	Massa (g)
Cimento CP IV Itambé	635,4
Areia Rosa lab + 1 lavagem	785,3
Areia britagem Beltrão com corte #2,4	1346,3
Água est função do estudo concreto	512
Aditivo Plast PN 786 SA	5,1
Água efetivamente utilizada	350,4
Massa Recipiente sem tara	1059,1
Massa específica (kg/m ³)	2212,9
Flow 10 inicial	19,1
Flow 20 inicial	22
Flow 30 inicial	24,7
Água final após ajuste visual flow	478,5
Flow 10 final	26,8
Flow 20 final	29,5
Flow 30 final	32
A/c final	0,75
A/c final corrigida	0,77

Tabela 20 - (A11) Proporcionamento da argamassa 7 (areia fina rosa Inácio Martins – Segunda lavagem), parâmetros de trabalhabilidade e massa específica

Argamassa 7	Massa (g)
Cimento CP IV Itambé	635,4
Areia Rosa lab + 2 lavagem	785,3
Areia britagem Beltrão com corte #2,4	1346,3
Água est função do estudo concreto	512
Aditivo Plast PN 786 SA	5,1
Água efetivamente utilizada	350,4
Massa Recipiente sem tara	1082,3
Massa específica (kg/m ³)	2261,4
Flow 10 inicial	20,2
Flow 20 inicial	23,7
Flow 30 inicial	26,2
Água final após ajuste visual flow	406
Flow 10 final	23,9
Flow 20 final	28
Flow 30 final	30,7
A/c final	0,64
A/c final corrigida	0,67

Tabela 21 - (A12) Proporcionamento da argamassa 8 (areia final branca Inácio Martins – Primeira produção piloto), parâmetros de trabalhabilidade e massa específica

Argamassa 8	Massa (g)
Cimento CP IV Itambé	660,2
Areia Branca ciclone 1a operação	809,7
Areia britagem Beltrão com corte #2,4	1398,9
Água est função do estudo concreto	473,5
Aditivo Plast PN 786 SA	5,3
Água efetivamente utilizada	350,4
Massa Recipiente sem tara	1098,7
Massa específica (kg/m ³)	2295,7
Flow 10 inicial	21,8
Flow 20 inicial	25,2
Flow 30 inicial	28,3
Água final após ajuste visual flow	386,6
Flow 10 final	23,8
Flow 20 final	28
Flow 30 final	30,6
A/c final	0,59
A/c final corrigida	0,63

Tabela 22 - (A13) Proporcionamento da argamassa 9 (referência com areia de ciclone da Hobby), parâmetros de trabalhabilidade e massa específica

Argamassa 9	Massa (g)
Cimento CP IV Itambé	660,2
Areia Branca hobby	809,7
Areia britagem Beltrão com corte #2,4	1398,9
Água est função do estudo concreto	473,5
Aditivo Plast PN 786 SA	5,3
Água efetivamente utilizada	350,4
Massa Recipiente sem tara	1107,2
Massa específica (kg/m ³)	2313,4
Flow 10 inicial	23,1
Flow 20 inicial	27,5
Flow 30 inicial	30,4
Água final após ajuste visual flow	371,1
Flow 10 final	26
Flow 20 final	30,5
Flow 30 final	33,4
A/c final	0,56
A/c final corrigida	0,55

Tabela 23 - (A14) Resultados dos ensaios de azul de metileno

RFTS	Identificação da amostra	Tipo de Material	Tamanho	Cliente	MBV	Quantidade de Argila (%)
RD 18-1766	Areia Natural Beltrão	Natural	Fina	-	0,390	0,17%
RD 18-1766	Areia Natural Argamassa	Natural	Fina	-	1,030	0,45%
RD 18-1766	Areia Natural Hobbi Paver	Natural	Fina	-	0,380	0,17%
RD 18-1766	Areia Natural Concreto	Natural	Fina	-	0,730	0,32%
RD 18-1766	Areia Natural Areial Dalba	Natural	Fina	-	4,760	2,07%
RD 18-1766	Areia Vermelha GP Pulverulento 5,85%	Natural	Fina	-	7,310	3,18%

A1.2 Estudo de Determinação da proporção ótima na composição do agregado miúdo na mistura

A1.2.1 Caracterização dos materiais

Os materiais utilizados nesta etapa do estudo foram os mesmos utilizados nos estudos preliminares. A caracterização dos materiais está no item 7.4.1.1.1 *Caracterização dos materiais*.

A1.2.2 Ensaio Comparativos

Segue abaixo os resultados dos ensaios comparativos de consistência, manutenção e massa específica no estudo em betoneira e suas respectivas resistências à compressão aos 7 e 28 dias:

Tabela 24 - (A15) Composição do traço de referência $f_{ck}=25\text{MPa}$, abatimento $12\pm 2\text{cm}$, Britas 0 e 1: composição real levando em conta a água efetivamente empregada e a massa específica – indicadores de trabalhabilidade

Traço 1		Alfa vol= 54,468 % vol areia Guaiara= 61,84% do vol agrega miúdo				
	Kg	d (kg/dm ³)	Vol (dm ³)	massa p/ 20 l (kg)	Traço 1 final	Trabalhabilidade
Cimento Itambé CP IV	282	2,82	100,00	5,64	293	Água inicial (litros)
Areia Guaira	543	2,61	208,05	10,86	564	161,7
Areia Britagem corte 2,4	380	2,96	128,38	7,6	395	Slump inicial (cm)
B0	365	2,94	124,15	7,3	379	14,5
B1	710	2,95	240,68	14,2	738	Slump apos perda (cm)
Agua	175	1	175,00	3,37	175	6,5
Plast PN 786 SA	2,5	1,1	2,27	0,050	2,6	Água acrescida (litros)
Soma	2457,5		978,52	Soma	2548,0	13,5
		Alfa vol (%)=	54,47	A/C final=	0,60	Slump final (cm)
						12,50

Tabela 25 - (A16) Composição do traço contendo areia branca de ciclone da produção piloto de novembro de 2017 (alfa volumétrico igual ao do concreto de referência e % volumétrico de 50% da areia de ciclone em relação ao agregado miúdo) $f_{ck}=25\text{MPa}$, abatimento 12 ± 2

Traço 2						
Alfa vol= 54,468 % vol areia ciclone= 50% do vol agrega miúdo						
	Kg	d (kg/dm3)	Vol (dm3)	massa p/ 20 l (kg)	Traço 2 final	Trabalhabilidade
Cimento Itambé CP IV	282	2,82	100,00	5,64	276	Água inicial (litros)
Areia Branca ciclone prod piloto	432	2,57	168,21	8,65	424	191,1
Areia Britagem corte 2,4	498	2,96	168,21	9,96	488	Slump inicial (cm)
B0	365	2,94	124,15	7,3	358	11,5
B1	710	2,95	240,68	14,2	696	Slump apos perda (cm)
Água	175	1	175,00	4,7	230	3,0
Plast PN 786 SA	2,5	1,1	2,27	0,050	2,5	Água acrescida (litros)
Soma	2464,7		978,52		2474,3	39,2
Alfa vol (%)=				54,47	A/C final	0,83
						Slump final (cm)
						11,50

Tabela 26 - (A17) Composição do traço contendo areia branca de ciclone da produção piloto de novembro de 2017 (alfa volumétrico igual ao do concreto de referência e % volumétrico de 40% da areia de ciclone em relação ao agregado miúdo) $f_{ck}=25\text{MPa}$, abatimento 12 ± 2

Traço 3						
Alfa vol= 54,468 % areia ciclone= 40% do vol agrega miúdo						
	Kg	d (kg/dm3)	Vol (dm3)	massa p/ 20 l (kg)	Traço 3 final	Trabalhabilidade
Cimento Itambé CP IV	282	2,82	100,00	5,64	282	Água inicial (litros)
Areia Branca ciclone prod piloto	346	2,57	134,57	6,92	346	181,4
Areia Britagem corte 2,4	597	2,96	201,85	11,95	597	Slump inicial (cm)
B0	365	2,94	124,15	7,3	365	15,5
B1	710	2,95	240,68	14,2	710	Slump apos perda (cm)
Água	175	1	175,00	4,2	210	3,5
Plast PN 786 SA	2,5	1,1	2,27	0,050	2,5	Água acrescida (litros)
Soma	2477,8		978,52		2511,5	28,5
Alfa vol (%)=				54,47	A/C final	0,74
						Slump final (cm)
						10,00

Tabela 27 - (A18) Composição do traço contendo areia branca de ciclone da produção piloto de novembro de 2017 (alfa volumétrico igual ao do concreto de referência e % volumétrico de 30% da areia de ciclone em relação ao agregado miúdo) $f_{ck}=25\text{MPa}$, abatimento 12 ± 2

Traço 4						
Alfa vol= 54,468 % areia ciclone= 30% do vol agrega miúdo						
	Kg	d (kg/dm3)	Vol (dm3)	massa p/ 20 l (kg)	Traço 4 final	Trabalhabilidade
Cimento Itambé CP IV	282	2,82	100,00	5,64	282	Água inicial (litros)
Areia Branca ciclone prod piloto	259	2,57	100,93	5,19	259	177,5
Areia Britagem corte 2,4	697	2,96	235,50	13,94	697	Slump inicial (cm)
B0	365	2,94	124,15	7,3	365	14,5
B1	710	2,95	240,68	14,2	710	Slump apos perda (cm)
Água	175	1	175,00	4,14	207	3,5
Plast PN 786 SA	2,5	1,1	2,27	0,050	2,5	Água acrescida (litros)
Soma	2491,0		978,52		2522,9	29,5
Alfa vol (%)=				54,47	A/C final	0,73
						Slump final (cm)
						10,50

Tabela 28 - (A19) Composição do traço contendo areia branca de ciclone da produção piloto de novembro de 2017 (alfa volumétrico igual a 52% e % volumétrico de 50% da areia de ciclone em relação ao agregado miúdo) $f_{ck}=25\text{MPa}$, abatimento $12\pm 2\text{cm}$, Britas 0 e 1: compo

Traço 5		Alfa vol= 52 % areia ciclone= 50% do vol agrega miúdo				
	Kg	d (kg/dm ³)	Vol (dm ³)	massa p/ 20 l (kg)	Traço 5 final	Trabalhabilidade
Cimento Itambé CP IV	282	2,82	100,00	5,64	282	Água inicial (litros)
Areia Branca ciclone prod piloto	407	2,57	158,33	8,14	406	184,7
Areia Britagem corte 2,4	469	2,96	158,33	9,37	468	Slump inicial (cm)
B0	385	2,94	130,88	7,70	384	13,5
B1	748	2,95	253,72	14,97	747	Slump apos perda (cm)
Água	175	1	175,00	4,4	220	3,0
Plast PN 786 SA	2,5	1,1	2,27	0,050	2,5	Água acrescida (litros)
Soma	2468,3		978,52		2509,3	34,9
		Alfa vol (%)= 52,00		A/C final 0,78		Slump final (cm)
						10,50

Tabela 29 - (A20) Composição do traço contendo areia branca de ciclone da produção piloto de novembro de 2017 (alfa volumétrico igual a 52% e % volumétrico de 40% da areia de ciclone em relação ao agregado miúdo) $f_{ck}=25\text{MPa}$, abatimento $12\pm 2\text{cm}$, Britas 0 e 1: compo

Traço 6		Alfa vol= 52 % areia ciclone= 40% do vol agrega miúdo				
	Kg	d (kg/dm ³)	Vol (dm ³)	massa p/ 20 l (kg)	Traço 6 final	Trabalhabilidade
Cimento Itambé CP IV	282	2,82	100,00	5,64	283	Água inicial (litros)
Areia Branca ciclone prod piloto	326	2,57	126,66	6,51	327	179,2
Areia Britagem corte 2,4	562	2,96	189,99	11,25	565	Slump inicial (cm)
B0	385	2,94	130,88	7,70	386	15,0
B1	748	2,95	253,72	14,97	752	Slump apos perda (cm)
Água	175	1	175,00	4,16	209	3,5
Plast PN 786 SA	2,5	1,1	2,27	0,050	2,5	Água acrescida (litros)
Soma	2480,7		978,52		2523,8	29,6
		Alfa vol (%)= 52,00		A/C final 0,74		Slump final (cm)
						10,50

Tabela 30 - (A21) Composição do traço contendo areia branca de ciclone da produção piloto de novembro de 2017 (alfa volumétrico igual a 52% e % volumétrico de 30% da areia de ciclone em relação ao agregado miúdo) $f_{ck}=25\text{MPa}$, abatimento $12\pm 2\text{cm}$, Britas 0 e 1: compo

Traço 7		Alfa vol= 52 % areia ciclone= 30% do vol agrega miúdo				
	Kg	d (kg/dm ³)	Vol (dm ³)	massa p/ 20 l (kg)	Traço 7 final	Trabalhabilidade
Cimento Itambé CP IV	282	2,82	100,00	5,64	285	Água inicial (litros)
Areia Branca ciclone prod piloto	244	2,57	95,00	4,88	246	172,8
Areia Britagem corte 2,4	656	2,96	221,66	13,12	662	Slump inicial (cm)
B0	385	2,94	130,88	7,70	388	14,5
B1	748	2,95	253,72	14,97	755	Slump apos perda (cm)
Água	175	1	175,00	3,985	201	3,5
Plast PN 786 SA	2,5	1,1	2,27	0,050	3	Água acrescida (litros)
Soma	2493,0		978,52			28,3
		Alfa vol (%)= 52,00		A/C final 0,71		Slump final (cm)
						10,50

Tabela 31 - (A22) Composição do traço contendo areia de ciclone da Hobby da produção piloto de novembro de 2017 (alfa volumétrico igual a 52% e % volumétrico de 40% da areia Hobby em relação ao agregado miúdo) $f_{ck}=25\text{MPa}$, abatimento $12\pm 2\text{cm}$, Britas 0 e 1.

Traço 8	Alfa vol= 52 % areia hobby= 40% do vol agrega miúdo					
	Kg	d (kg/dm ³)	Vol (dm ³)	massa p/ 20 l (kg)	Traço 8 final	Trabalhabilidade
Cimento Itambé CP IV	282	2,82	100,00	5,64	293	Água inicial (litros)
Areia Hobby	326	2,57	126,66	6,51	338	177,7
Areia Britagem corte 2,4	562	2,96	189,99	11,25	584	Slump inicial (cm)
B0	385	2,94	130,88	7,70	399	16,5
B1	748	2,95	253,72	14,97	777	Slump apos perda (cm)
Água	175	1	175,00	3,425	178	10,0
Plast PN 786 SA	2,5	1,1	2,27	0,050	3	Água acrescida (litros)
Soma	2480,7		978,52			0,0
		Alfa vol (%)=	52,00	A/C final	0,61	Slump final (cm)
						10,00

Figura 32 - (A18) Resistência à compressão dos concretos de diferentes traços aos 7 dias

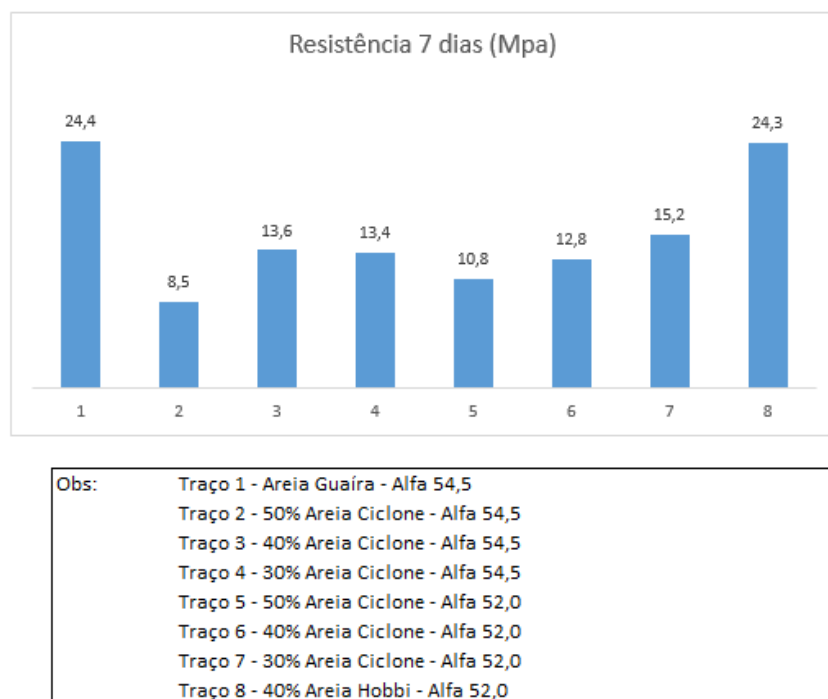
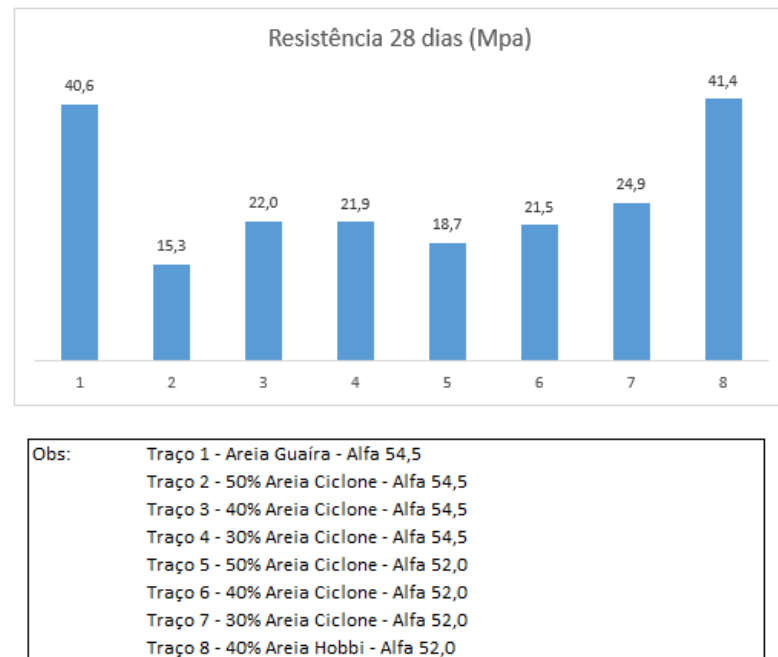


Figura 33 - (A19) Resistência à compressão dos concretos de diferentes traços aos 28 dias



A1.3 Estudo Comparativo entre outras areias referência e de Determinação do aditivo de melhor desempenho

A1.3.1 Caracterização dos materiais

Alguns dos materiais utilizados nesta etapa do estudo foram os mesmos utilizados nos estudos preliminares. A caracterização dos materiais está no item 7.4.1.1.1 *Caracterização dos materiais*. Segue abaixo a caracterização dos materiais restantes utilizados nesta etapa do estudo:

Figura 34 - (A20) Caracterização da Areia Rosa trazida de São Paulo para testes comparativos em concretos e argamassas

Areia Rosa de São Paulo (amostra trazida em fev 18 pelo Denis) e usada nos testes de fevereiro e março 18

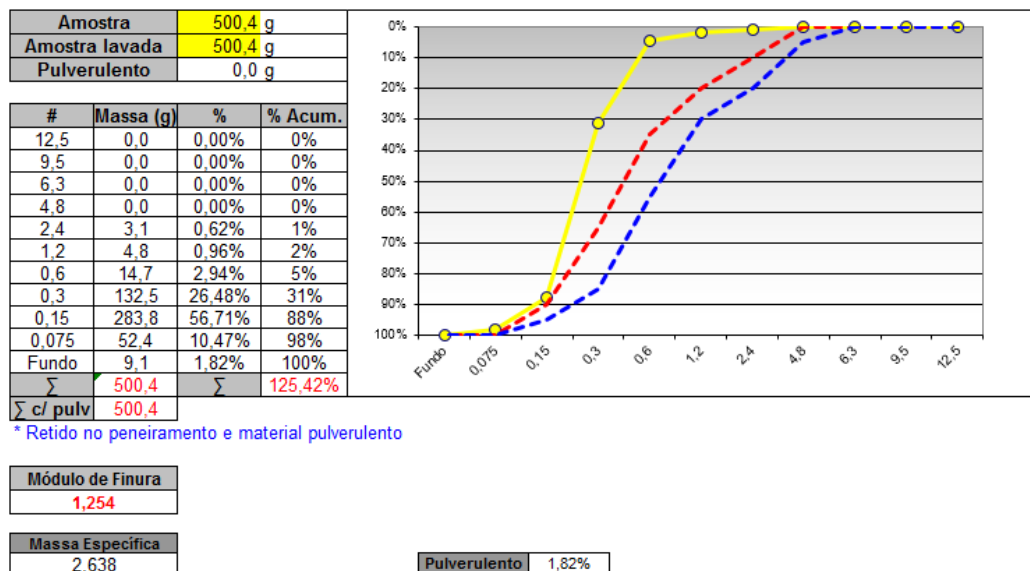
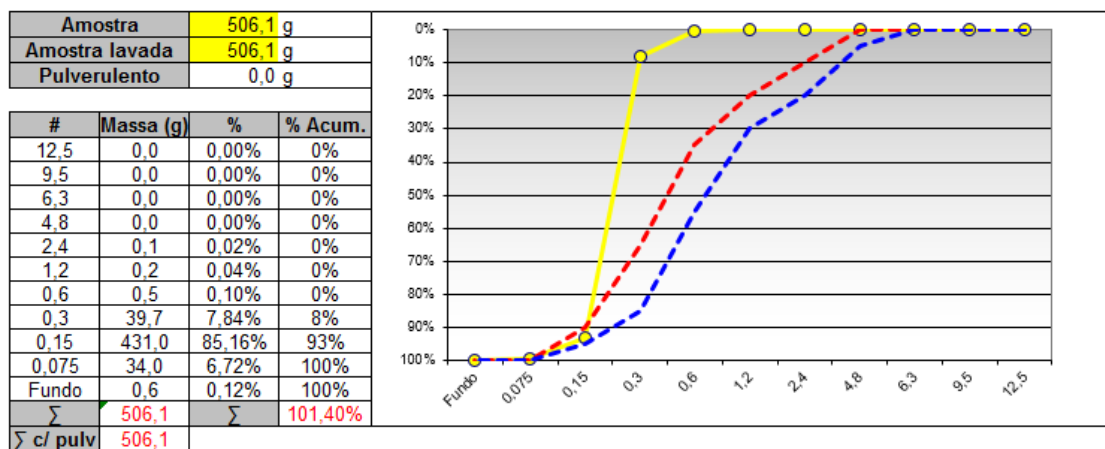


Figura 35 - (A21) Caracterização da Areia do Albardão trazida da Grande Florianópolis para testes comparativos em concretos e argamassas

Areia Albardão (usada na produção de concretos de fevereiro)



* Retido no peneiramento e material pulverulento

Módulo de Finura
1,014

Massa Específica
2,637

Pulverulento	0,12%
--------------	-------

A1.3.2 Ensaios Comparativos

Segue abaixo os resultados dos ensaios comparativos de consistência, manutenção e massa específica no estudo em betoneira e suas respectivas resistências à compressão aos 7 e 28 dias:

Tabela 32 - (A23) Composição do traço de referência $f_{ck}=25\text{MPa}$, abatimento $12\pm 2\text{cm}$, Britas 0 e 1: composição real levando em conta a água efetivamente empregada e a massa específica – indicadores de trabalhabilidade - aditivo empregado: PN 786 SA

Traço 1		Alfa vol= 54,468 % areia Guaira = 61,84% do vol do agregado miúdo				
	Kg	d (kg/dm3)	Vol (dm3)	massa p/ 20 l (kg)	Traço 1 final	Trabalhabilidade
Cimento Itambé CP IV	282	2,82	100,00	5,64	291	Água inicial (litros)
Areia Guaira	543	2,61	208,05	10,86	561	168,4
Areia Britagem corte 2,4	380	2,96	128,38	7,6	393	Slump inicial (cm)
B0	365	2,94	124,15	7,3	377	14,5
B1	710	2,95	240,68	14,2	734	Slump apos perda (cm)
Agua	175	1	175,00	3,447	178	6,0
Plast PN 786 SA	2,5	1,1	2,27	0,050	2,6	Água acrescida (litros)
Soma	2457,5		978,52		2537,5	9,8
		Alfa volumétrico	54,47	A/C final	0,61	Slump final (cm)
						10,00

Tabela 33 - (A24) Composição do traço contendo areia branca de ciclone da produção piloto de novembro de 2017 (alfa volumétrico igual a 52% e % volumétrico de 50% da areia de ciclone em relação ao agregado miúdo) fck=25MPa, abatimento 12±2cm, Britas 0 e 1: compo

Traço 2	Alfa vol= 52 % areia ciclone= 40% do vol agrega miúdo					
	Kg	d (kg/dm3)	Vol (dm3)	massa p/ 20 l (kg)	Traço 2 final	Trabalhabilidade
Cimento Itambé CP IV	282	2,82	100,00	5,64	281	Água inicial (litros)
Areia Branca ciclone lavada	334	2,634	126,66	6,67	332	174,2
Areia Britagem corte 2,4	562	2,96	189,99	11,25	560	Slump inicial (cm)
B0	385	2,94	130,88	7,70	383	10,0
B1	748	2,95	253,72	14,97	745	Slump apos perda (cm)
Agua	175	1	175,00	4,235	211	3,0
Plast PN 786 SA	2,5	1,1	2,27	0,050	2,5	Água acrescida (litros)
Soma	2488,8		978,52		2514,2	36,6
				A/C final	0,75	Slump final (cm)
						10,00

Tabela 34 - (A25) Composição do traço contendo areia rosa de São Paulo (alfa volumétrico igual a 52% e % volumétrico de 50% da areia de ciclone em relação ao agregado miúdo) fck=25MPa, abatimento 12±2cm, Britas 0 e 1: composição real levando em conta a água efetivamente empregada e a massa específica – indicadores de trabalhabilidade - aditivo empregado: PN 786 SA

Traço 3	Alfa vol= 52 % areia rosa= 40% do vol agrega miúdo					
	Kg	d (kg/dm3)	Vol (dm3)	massa p/ 20 l (kg)	Traço 3 final	Trabalhabilidade
Cimento Itambé CP IV	282	2,82	100,00	5,64	290	Água inicial (litros)
Areia Rosa	334	2,64	126,66	6,69	344	166,3
Areia Britagem corte 2,4	562	2,96	189,99	11,25	579	Slump inicial (cm)
B0	385	2,94	130,88	7,70	396	15,5
B1	748	2,95	253,72	14,97	771	Slump apos perda (cm)
Agua	175	1	175,00	3,414	176	7,0
Plast PN 786 SA	2,5	1,1	2,27	0,050	2,6	Água acrescida (litros)
Soma	2489,5		978,52		2560,1	9,6
				A/C final	0,61	Slump final (cm)
						10,50

Tabela 35 - (A26) Composição do traço contendo areia fina do Albardão (alfa volumétrico igual a 52% e % volumétrico de 50% da areia de ciclone em relação ao agregado miúdo) fck=25MPa, abatimento 12±2cm, Britas 0 e 1: composição real levando em conta a água efetivamente empregada e a massa específica – indicadores de trabalhabilidade - aditivo empregado: PN 786 SA

Traço 4	Alfa vol= 52 % areia albardão= 40% do vol agrega miúdo					
	Kg	d (kg/dm3)	Vol (dm3)	massa p/ 20 l (kg)	Traço 4 final	Trabalhabilidade
Cimento Itambé CP IV	282	2,82	100,00	5,64	290	Água inicial (litros)
Areia albardão	334	2,637	126,66	6,68	344	167,8
Areia Britagem corte 2,4	562	2,96	189,99	11,25	579	Slump inicial (cm)
B0	385	2,94	130,88	7,70	396	12,5
B1	748	2,95	253,72	14,97	771	Slump apos perda (cm)
Agua	175	1	175,00	3,5	180	6,5
Plast PN 786 SA	2,5	1,1	2,27	0,050	2,6	Água acrescida (litros)
Soma	2489,1		978,52		2563,8	12,5
				A/C final	0,62	Slump final (cm)
						10,00

Tabela 36 - (A27) Composição do traço contendo areia branca de ciclone da produção piloto de novembro de 2017 com teor de material pulverulento corrigido para 1,82% (alfa volumétrico igual a 52% e % volumétrico de 40% da areia de ciclone em relação ao agregado miúdo) fck=25MPa, abatimento 12±2cm, Britas 0 e 1: composição real levando em conta a água efetivamente empregada e a massa específica – indicadores de trabalhabilidade - aditivo empregado: PN 786 SA

Traço 5	Alfa vol= 52 % areia ciclone misturada % pulv igual areia rosa= 40% do vol agrega miúdo					
	Kg	d (kg/dm3)	Vol (dm3)	massa p/ 20 l (kg)	Traço 6 final	Trabalhabilidade
Cimento Itambé CP IV	282	2,82	100,00	5,64	281	Água inicial (litros)
Areia Branca ciclone mix	334	2,634	126,66	6,67	333	174,5
Areia Britagem corte 2,4	562	2,96	189,99	11,25	561	Slump inicial (cm)
B0	385	2,94	130,88	7,70	384	10,5
B1	748	2,95	253,72	14,97	746	Slump apos perda (cm)
Agua	175	1	175,00	4,32	215	2,5
Plast PN 786 SA	2,5	1,1	2,27	0,050	2,5	Água acrescida (litros)
Soma	2488,8		978,52		2522,0	40,9
				A/C final	0,77	Slump final (cm)
						10.00

Tabela 37 - (A28) Composição do traço contendo areia branca de ciclone da produção piloto de novembro de 2017 (alfa volumétrico igual a 52% e % volumétrico de 40% da areia de ciclone em relação ao agregado miúdo) fck=25MPa, abatimento 12±2cm, Britas 0 e 1: composição real levando em conta a água efetivamente empregada e a massa específica – indicadores de trabalhabilidade – aditivo empregado: FK 320

Traço 6		Alfa vol= 52 % areia ciclone= 40% do vol agrega miúdo				
	Kg	d (kg/dm3)	Vol (dm3)	massa p/ 20 l (kg)	Traço 2 final	Trabalhabilidade
Cimento Itambé CP IV	282	2,82	100,00	5,64	283	Água inicial (litros)
Areia Branca ciclone lavada	333,6235	2,634	126,66	6,672470511	334	167,9
Areia Britagem corte 2,4	562,3722	2,96	189,99	11,2474446	564	Slump inicial (cm)
B0	384,7827	2,94	130,88	7,695653352	386	11,0
B1	748,4814	2,95	253,72	14,96962707	750	Slump apos perda (cm)
Agua	175	1	175,00	4,15	208	2,5
FK 320	2,5	1,1	2,27	0,050	2,5	Água acrescida (litros)
Soma	2488,8		978,52		2527,2	40,0
				A/C final	0,74	Slump final (cm)
						10,50

Tabela 38 - (A29) Composição do traço contendo areia branca de ciclone da produção piloto de novembro de 2017 (alfa volumétrico igual a 52% e % volumétrico de 40% da areia de ciclone em relação ao agregado miúdo) fck=25MPa, abatimento 12±2cm, Britas 0 e 1: composição real levando em conta a água efetivamente empregada e a massa específica – indicadores de trabalhabilidade – aditivo empregado: R 200

Traço 7		Alfa vol= 52 % areia ciclone= 40% do vol agrega miúdo				
	Kg	d (kg/dm3)	Vol (dm3)	massa p/ 20 l (kg)	Traço 3 final	Trabalhabilidade
Cimento Itambé CP IV	282	2,82	100,00	5,64	283	Água inicial (litros)
Areia Branca ciclone lavada	334,3835	2,64	126,66	6,68766976	335	162,4
Areia Britagem corte 2,4	562,3722	2,96	189,99	11,2474446	563	Slump inicial (cm)
B0	384,7827	2,94	130,88	7,695653352	386	15,0
B1	748,4814	2,95	253,72	14,96962707	750	Slump apos perda (cm)
Agua	175	1	175,00	4,1	205	3,0
R200	2,5	1,1	2,27	0,050	2,5	Água acrescida (litros)
Soma	2489,5		978,52		2524,5	43,0
		A/C final			0,73	Slump final (cm)
						10,50

Tabela 39 - (A30) Composição do traço contendo areia branca de ciclone da produção piloto de novembro de 2017 (alfa volumétrico igual a 52% e % volumétrico de 40% da areia de ciclone em relação ao agregado miúdo) $f_{ck}=25\text{MPa}$, abatimento $12\pm 2\text{cm}$, Britas 0 e 1: composição real levando em conta a água efetivamente empregada e a massa específica – indicadores de trabalhabilidade – aditivo empregado: 43ST4

Traço 8	Alfa vol= 52 % areia ciclone= 40% do vol agrega miúdo					
	Kg	d (kg/dm3)	Vol (dm3)	massa p/ 20 l (kg)	Traço 4 final	Trabalhabilidade
Cimento Itambé CP IV	282	2,82	100,00	5,64	285	Água inicial (litros)
Areia Branca ciclone lavada	334,0035	2,637	126,66	6,680070135	338	166,0
Areia Britagem corte 2,4	562,3722	2,96	189,99	11,2474446	569	Slump inicial (cm)
B0	384,7827	2,94	130,88	7,695653352	389	13,5
B1	748,4814	2,95	253,72	14,96962707	757	Slump apos perda (cm)
Agua	175	1	175,00	3,87	196	3,5
43 ST4	2,5	1,1	2,27	0,050	2,5	Água acrescida (litros)
Soma	2489,1		978,52		2535,9	29,8
				A/C final	0,69	Slump final (cm)
						11,50

Figura 36 - (A22) Resistência à compressão dos concretos de diferentes traços aos 7 dias variando-se o tipo de areia

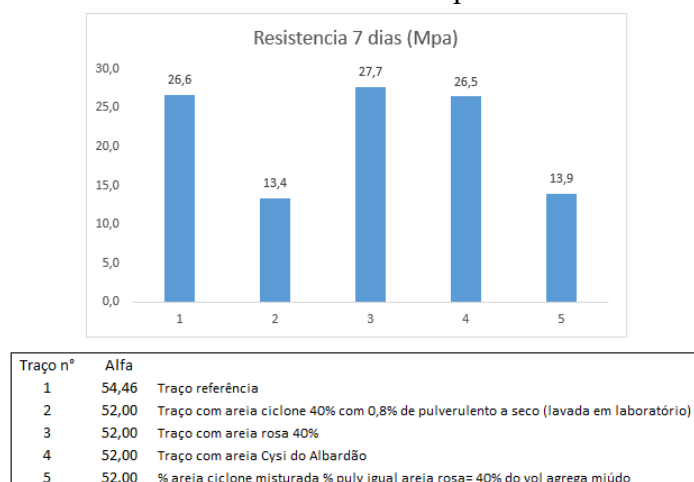


Figura 37 - (A23) Resistência à compressão dos concretos de diferentes traços aos 28 dias variando-se o tipo de areia

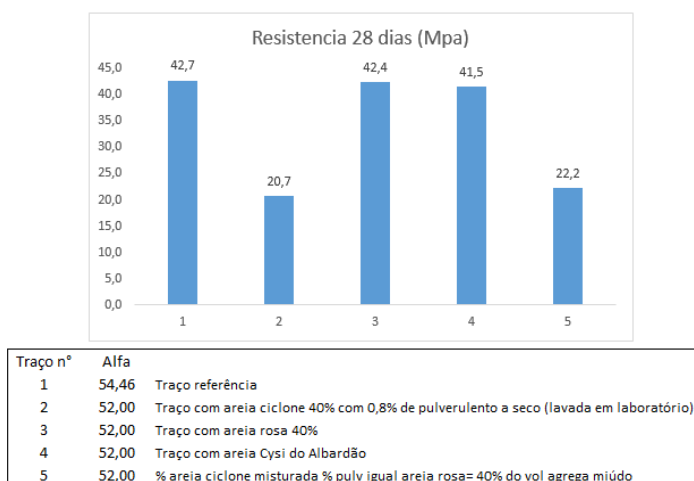


Figura 38 - (A24) Resistência à compressão dos concretos de diferentes traços aos 7 dia variando-se o tipo de aditivo redutor de água

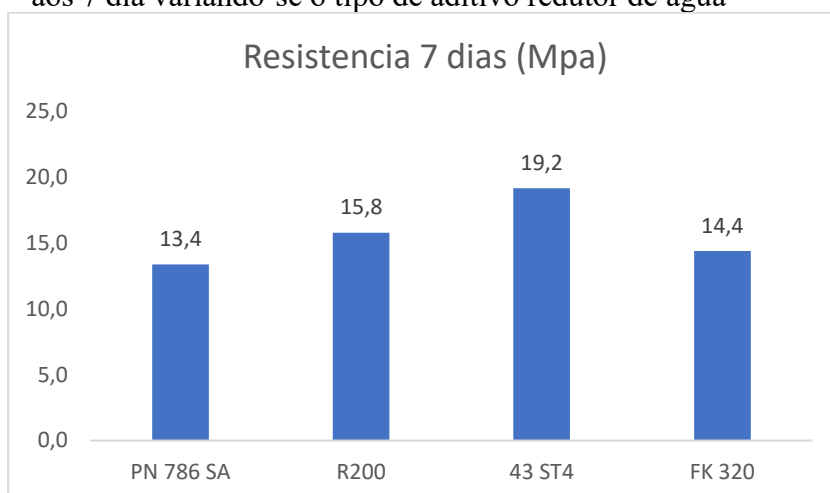
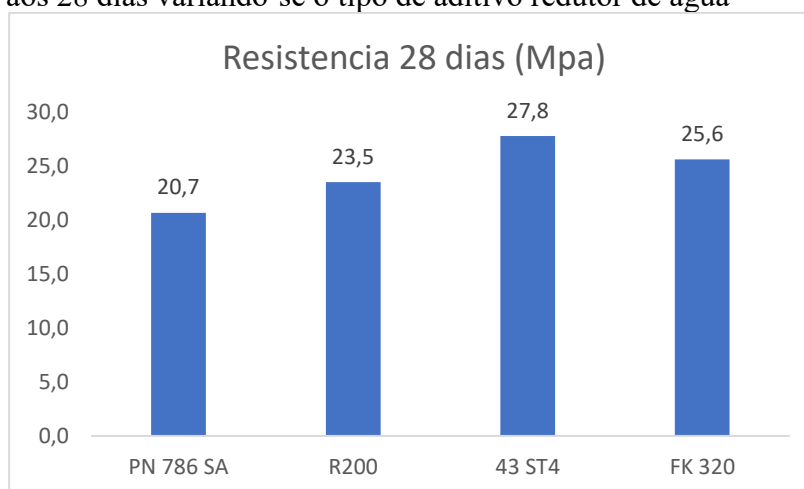


Figura 39 - (A25) Resistência à compressão dos concretos de diferentes traços aos 28 dias variando-se o tipo de aditivo redutor de água



A2 RESULTADOS DE IBEMA

A2.1 Caracterização dos materiais

Os resultados das caracterizações dos materiais desta etapa foram disponibilizados pela empresa contratante do projeto.

Tabela 40 - (A31) Composição granulométrica, massa específica e material pulverulento: Amostra 1

Análise Granulométrica (NBR NM 248)

Data Coleta: 27/04/2018

Data Ensaio: 01/05/2018

Agregado: Areia Natural (amostra 1 lavada)

Fornecedor: AREAL IBEMA

Operador: Bianca

Peneiras (mm)	massa (g)	%	
		retida	acumulada
6,3	0,0	0,0	0,0
4,75	0,0	0,0	0,0
2,36	0,0	0,0	0,0
1,18	0,0	0,0	0,0
0,6	14,5	2,9	2,9
0,3	156,0	31,2	34,1
0,15	269,5	54,0	88,1
0,075	53,8	10,8	98,9
Pulverulento	5,7	1,1	100,0
Fundo	5,7		
Total	499,5	100,0	

Diâmetro máximo (mm)	
Módulo de finura	1,25
Material pulverulento (%)	1,14
Massa específica (kg/cm³)	2,572
Massa unitária úmida (kg/m³)	
Umidade (%)	0,0%
Equivalente de areia	27,26%

Tabela 41 - (A32) Composição granulométrica, massa específica e material pulverulento: Amostra 2

Análise Granulométrica (NBR NM 248)

Data Coleta: 27/04/2018

Data Ensaio: 01/05/2018

Agregado: Areia Natural (amostra 2 lavada)

Fornecedor: AREAL IBEMA

Operador: Bianca

Peneiras (mm)	massa (g)	%	
		retida	acumulada
6,3	0,0	0,0	0,0
4,75	0,0	0,0	0,0
2,36	0,0	0,0	0,0
1,18	0,0	0,0	0,0
0,6	50,9	10,2	10,2
0,3	154,8	30,9	41,1
0,15	235,9	47,1	88,2
0,075	51,6	10,3	98,5
Pulverulento	7,4	1,5	100,0
Fundo	7,4		
Total	500,6	100,0	

Diâmetro máximo (mm)	
Módulo de finura	1,39
Material pulverulento (%)	1,48
Massa específica (kg/cm³)	2,592
Massa unitária úmida (kg/m³)	
Umidade (%)	0,0%
Equivalente de Areia	36,32%

Tabela 42 - (A33) Composição granulométrica, massa específica e material pulverulento: Amostra 3

Análise Granulométrica (NBR NM 248)

Data Coleta: 27/04/2018

Data Ensaio: 01/05/2018

Agregado: Areia Natural (amostra 3 lavada)

Fornecedor: AREAL IBEMA

Operador: Bianca

Peneiras (mm)	massa (g)	%	
		retida	acumulada
6,3	0,0	0,0	0,0
4,75	0,0	0,0	0,0
2,36	0,0	0,0	0,0
1,18	0,0	0,0	0,0
0,6	19,5	3,9	3,9
0,3	84,9	17,0	20,9
0,15	330,1	66,2	87,2
0,075	57,4	11,5	98,7
Pulverulento	6,6	1,3	100,0
Fundo	6,6		
Total	498,5	100,0	

Diâmetro máximo (mm)	
Módulo de finura	1,12
Material pulverulento (%)	1,32
Massa específica (kg/cm³)	2,506
Massa unitária úmida (kg/m³)	
Umidade (%)	0,0%
Equivalente de Areia	34,73%

Tabela 43 - (A34) Composição granulométrica, massa específica e material pulverulento: Amostra 4

Análise Granulométrica (NBR NM 248)

Data Coleta: 27/04/2018

Data Ensaio: 01/05/2018

Agregado: Areia Natural (amostra 4 lavada)

Fornecedor: AREAL IBEMA

Operador: Rafael

Peneiras (mm)	massa (g)	%	
		retida	acumulada
6,3	0,0	0,0	0,0
4,75	0,0	0,0	0,0
2,36	0,0	0,0	0,0
1,18	0,0	0,0	0,0
0,6	27,4	5,5	5,5
0,3	261,2	52,0	57,5
0,15	141,2	28,1	85,6
0,075	61,7	12,3	97,9
Pulverulento	10,4	2,1	100,0
Fundo	10,4		
Total	501,9	100,0	

Diâmetro máximo (mm)	
Módulo de finura	1,49
Material pulverulento (%)	2,07
Massa específica (kg/cm³)	2,578
Massa unitária úmida (kg/m³)	
Umidade (%)	0,0%
Equivalente de areia	28,58%

Tabela 44 - (A35) Composição granulométrica, massa específica e material pulverulento: Amostra 5

Análise Granulométrica (NBR NM 248)

Data Coleta: 27/04/2018

Data Ensaio: 01/05/2018

Agregado: Areia Natural (amostra 5 lavada)

Fornecedor: AREAL IBEMA

Operador: Rafael

Peneiras (mm)	massa (g)	%	
		retida	acumulada
6,3	0,0	0,0	0,0
4,75	0,0	0,0	0,0
2,36	0,0	0,0	0,0
1,18	0,0	0,0	0,0
0,6	0,4	0,1	0,1
0,3	36,8	7,2	7,3
0,15	370,3	72,9	80,3
0,075	88,2	17,4	97,6
Pulverulento	12,0	2,4	100,0
Fundo	12,0		
Total	507,7	100,0	

Diâmetro máximo (mm)	
Módulo de finura	0,88
Material pulverulento (%)	2,36
Massa específica (kg/cm³)	2.648
Massa unitária úmida (kg/m³)	
Umidade (%)	0,0%
Equivalente de Areia	48,44%

Tabela 45 - (A36) Composição granulométrica, massa específica e material pulverulento: Amostra 6
Análise Granulométrica (NBR NM 248)

Data Coleta:

03/05/2018

Data Ensaio:

04/05/2018

Agregado:

Areia Natural (amostra 6 lavada)

Fornecedor:

AREAL IBEMA

Operador:

Dejoni

Peneiras (mm)	massa (g)	%	
		retida	acumulada
6,3	0,0	0,0	0,0
4,75	0,0	0,0	0,0
2,36	0,0	0,0	0,0
1,18	0,2	0,1	0,1
0,6	0,3	0,1	0,1
0,3	28,7	7,2	7,3
0,15	277,3	69,6	76,9
0,075	77,2	19,4	96,3
Pulverulento	14,7	3,7	100,0
Fundo	14,7		
Total	398,3	100,0	

Diâmetro máximo (mm)	
Módulo de finura	0,84
Material pulverulento (%)	3,69
Massa específica (kg/cm³)	2,614
Massa unitária úmida (kg/m³)	
Umidade (%)	17,4%

Tabela 46 - (A37) Composição granulométrica, massa específica e material pulverulento: Amostra 7
Análise Granulométrica (NBR NM 248)

Data Coleta: 03/05/2018		Data Ensaio: 04/05/2018	
Agregado: Areia Natural (amostra 7 lavada)			
Fornecedor: AREAL IBEMA		Operador: Dejoni	
Peneiras (mm)	massa (g)	%	
		retida	acumulada
6,3	0,0	0,0	0,0
4,75	0,0	0,0	0,0
2,36	0,0	0,0	0,0
1,18	0,2	0,0	0,0
0,6	0,3	0,1	0,1
0,3	20,7	4,6	4,7
0,15	359,9	79,5	84,2
0,075	63,1	13,9	98,1
Pulverulento	8,7	1,9	100,0
Fundo	8,7		
Total	452,8		100,0

Diâmetro máximo (mm)	
Módulo de finura	0,89
Material pulverulento (%)	1,93
Massa específica (kg/cm³)	2,600
Massa unitária úmida (kg/m³)	
Umidade (%)	16,4%

A2.2 Ensaios Comparativos

Segue abaixo os resultados dos ensaios comparativos de consistência, manutenção e massa específica no estudo em betoneira e suas respectivas resistências à compressão aos 7 e 28 dias:

Tabela 47 - (A38) Composição do traço 16 (Areia de Ibema – amostra 1) abatimento 12 ± 2 cm, Britas 0 e 1: composição real levando em conta a água efetivamente empregada e a massa específica – indicadores de trabalhabilidade

Traço 16		Alfa vol= 52		% areia arenito= 40% do vol agrega miúdo		
	Kg	d (kg/dm ³)	Vol (dm ³)	massa p/ 20 l (kg)	Traço 16 final	Trabalhabilidade
Cimento Itambé CP IV	282	2,82	100	5,64	284	Água inicial (litros)
Areia Ibema amostra 1	325,7706	2,572	126,660412	6,52	328	196,5
Areia Britagem corte 2,4	562,3722	2,96	189,990618	11,25	567	Slump inicial (cm)
B0	384,7827	2,94	130,878458	7,70	388	8,0
B1	748,4814	2,95	253,722493	14,97	754	Slump apos perda (cm)
Agua	175	1	175	4,32	218	6,0
Aditivo c/ mitig de argila Exp cr 4966	1,692	1,1	1,53818182	0,034	2	Água acrescida (litros)
Soma	2480,099		977,790163		2540,56	21,2
		Alfa vol (%)=	52,00	A/C final	0,77	Slump final (cm)
						12,00

Tabela 48 - (A39) Composição do traço 17 (Areia de Ibema – amostra 2) abatimento 12 ± 2 cm, Britas 0 e 1: composição real levando em conta a água efetivamente empregada e a massa específica – indicadores de trabalhabilidade

Traço 17		Alfa vol= 52		% areia arenito= 40% do vol agrega miúdo		
	Kg	d (kg/dm ³)	Vol (dm ³)	massa p/ 20 l (kg)	Traço 17 final	Trabalhabilidade
Cimento Itambé CP IV	282	2,82	100	5,64	285	Água inicial (litros)
Areia Ibema amostra 2	328,3038	2,592	126,660412	6,57	332	183,7
Areia Britagem corte 2,4	562,3722	2,96	189,990618	11,25	569	Slump inicial (cm)
B0	384,7827	2,94	130,878458	7,70	390	10,0
B1	748,4814	2,95	253,722493	14,97	758	Slump apos perda (cm)
Agua	175	1	175	4,18	212	4,5
Aditivo c/ mitig de argila Exp cr 4966	1,692	1,1	1,53818182	0,034	2	Água acrescida (litros)
Soma	2482,632		977,790163		2547,68	27,8
				A/C final	0,74	Slump final (cm)
						11,50

Tabela 49 - (A40) Composição do traço 18 (Areia de Ibema – amostra 3) abatimento 12 ± 2 cm, Britas 0 e 1: composição real levando em conta a água efetivamente empregada e a massa específica – indicadores de trabalhabilidade

Traço 18		Alfa vol= 52		% areia arenito= 40% do vol agrega miúdo		
	Kg	d (kg/dm ³)	Vol (dm ³)	massa p/ 20 l (kg)	Traço 18 final	Trabalhabilidade
Cimento Itambé CP IV	282	2,82	100	5,64	284	Água inicial (litros)
Areia Ibema amostra 3	317,411	2,506	126,660412	6,35	319	196,6
Areia Britagem corte 2,4	562,3722	2,96	189,990618	11,25	566	Slump inicial (cm)
B0	384,7827	2,94	130,878458	7,70	387	13,0
B1	748,4814	2,95	253,722493	14,97	753	Slump apos perda (cm)
Agua	175	1	175	4,39	221	5,0
Aditivo c/ mitig de argila Exp cr 4966	1,692	1,1	1,53818182	0,034	2	Água acrescida (litros)
Soma	2471,739		977,790163		2530,34	24,1
				A/C final	0,78	Slump final (cm)
						11,00

Tabela 50 - (A41) Composição do traço 19 (Areia de Ibema – amostra 4) abatimento 12±2cm, Britas 0 e 1: composição real levando em conta a água efetivamente empregada e a massa específica – indicadores de trabalhabilidade

Traço 19		Alfa vol= 54		% areia arenito= 40% do vol agrega miúdo		
	Kg	d (kg/dm3)	Vol (dm3)	massa p/ 20 l (kg)	Traço 19 final	Trabalhabilidade
Cimento Itambé CP IV	285	2,82	100	5,7	278	Água inicial (litros)
Areia Ibema amostra 4	590	2,578	126,660412	11,80	576	212,5
Areia Britagem	320	2,96	189,990618	6,40	313	Slump inicial (cm)
B0	370	2,94	130,878458	7,40	361	11,0
B1	720	2,95	253,722493	14,40	703	Slump apos perda (cm)
Água	175	1	175	5,03	246	4,5
Aditivo c/ mitig de argila Exp cr 4966	1,692	1,1	1,53818182	0,034	2	Água acrescida (litros)
Soma	2461,692		977,790163		2479,57	33,2
				A/C final	0,88	Slump final (cm)
						13,50

Tabela 51 - (A42) Composição do traço 20 (Areia de Ibema – amostra 5) abatimento 12±2cm, Britas 0 e 1: composição real levando em conta a água efetivamente empregada e a massa específica – indicadores de trabalhabilidade

Traço 20		Alfa vol= 52		% areia arenito= 40% do vol agrega miúdo		
	Kg	d (kg/dm3)	Vol (dm3)	massa p/ 20 l (kg)	Traço 20 final	Trabalhabilidade
Cimento Itambé CP IV	282	2,82	100	5,64	291	Água inicial (litros)
Areia Ibema amostra 5	335,3968	2,648	126,660412	6,71	347	175,6
Areia Britagem corte 2,4	562,3722	2,96	189,990618	11,25	581	Slump inicial (cm)
B0	384,7827	2,94	130,878458	7,70	398	20,0
B1	748,4814	2,95	253,722493	14,97	774	Slump apos perda (cm)
Água	175	1	175	3,649	189	7,0
Aditivo c/ mitig de argila Exp cr 4966	1,692	1,1	1,53818182	0,034	2	Água acrescida (litros)
Soma	2489,725		977,790163		2580,80	12,9
				A/C final	0,65	Slump final (cm)
						11,00

Tabela 52 - (A43) Composição do traço 21 (Areia Hobby) abatimento 12±2cm, Britas 0 e 1: composição real levando em conta a água efetivamente empregada e a massa específica – indicadores de trabalhabilidade

Traço 21		Alfa vol= 52		% areia arenito= 40% do vol agrega miúdo		
	Kg	d (kg/dm3)	Vol (dm3)	massa p/ 20 l (kg)	Traço 21 final	Trabalhabilidade
Cimento Itambé CP IV	282	2,82	100	5,64	290	Água inicial (litros)
Areia fina Hobby	335,0168	2,645	126,660412	6,70	345	159,9
Areia Britagem corte 2,4	562,3722	2,96	189,990618	11,25	579	Slump inicial (cm)
B0	384,7827	2,94	130,878458	7,70	396	21,0
B1	748,4814	2,95	253,722493	14,97	771	Slump apos perda (cm)
Água	175	1	175	3,377	174	5,0
Aditivo c/ mitig de argila Exp cr 4966	1,692	1,1	1,53818182	0,034	2	Água acrescida (litros)
Soma	2489,345		977,790163		2556,35	13,9
				A/C final	0,60	Slump final (cm)
						11,50

Tabela 53 - (A44) Composição do traço 22 (Areia de Ibema – amostra 1 com uso do mitigador Clarena) abatimento 12 ± 2 cm, Britas 0 e 1: composição real levando em conta a água efetivamente empregada e a massa específica – indicadores de trabalhabilidade

Traço 22		Alfa vol= 52		% areia arenito= 40% do vol agrega miúdo		
	Kg	d (kg/dm ³)	Vol (dm ³)	massa p/ 20 l (kg)	Traço 22 final	Trabalhabilidade
Cimento Itambé CP IV	282	2,82	100	5,64	285	Água inicial (litros)
Areia Ibema amostra 1	325,7706	2,572	126,660412	6,52	329	182,6
Areia Britagem corte 2,4	562,3722	2,96	189,990618	11,25	567	Slump inicial (cm)
B0	384,7827	2,94	130,878458	7,70	388	10,0
B1	748,4814	2,95	253,722493	14,97	755	Slump apos perda (cm)
Água	175	1	175	4,02	203	5,0
Aditivo c/ mitig de argila Exp cr 4966 + Clarena 35ml na areia	1,692	1,1	1,53818182	0,034	2	Água acrescida (litros)
Soma	2480,099		977,790163		2528,79	20,2
				A/C final	0,71	Slump final (cm)
						10,00

Tabela 54 - (A45) Composição do traço 23 (Areia de Ibema – amostra 2 com uso do mitigador Clarena) abatimento 12 ± 2 cm, Britas 0 e 1: composição real levando em conta a água efetivamente empregada e a massa específica – indicadores de trabalhabilidade

Traço 23		Alfa vol= 52		% areia arenito= 40% do vol agrega miúdo		
	Kg	d (kg/dm ³)	Vol (dm ³)	massa p/ 20 l (kg)	Traço 23 final	Trabalhabilidade
Cimento Itambé CP IV	282	2,82	100	5,64	291	Água inicial (litros)
Areia Ibema amostra 2	325,7706	2,572	126,660412	6,52	336	173,0
Areia Britagem corte 2,4	562,3722	2,96	189,990618	11,25	580	Slump inicial (cm)
B0	384,7827	2,94	130,878458	7,70	397	17,5
B1	748,4814	2,95	253,722493	14,97	772	Slump apos perda (cm)
Água	175	1	175	3,605	186	6,5
Aditivo c/ mitig de argila Exp cr 4966 + Clarena 35ml na areia	1,692	1,1	1,53818182	0,034	2	Água acrescida (litros)
Soma	2480,099		977,790163		2563,16	12,9
				A/C final	0,64	Slump final (cm)
						11,50

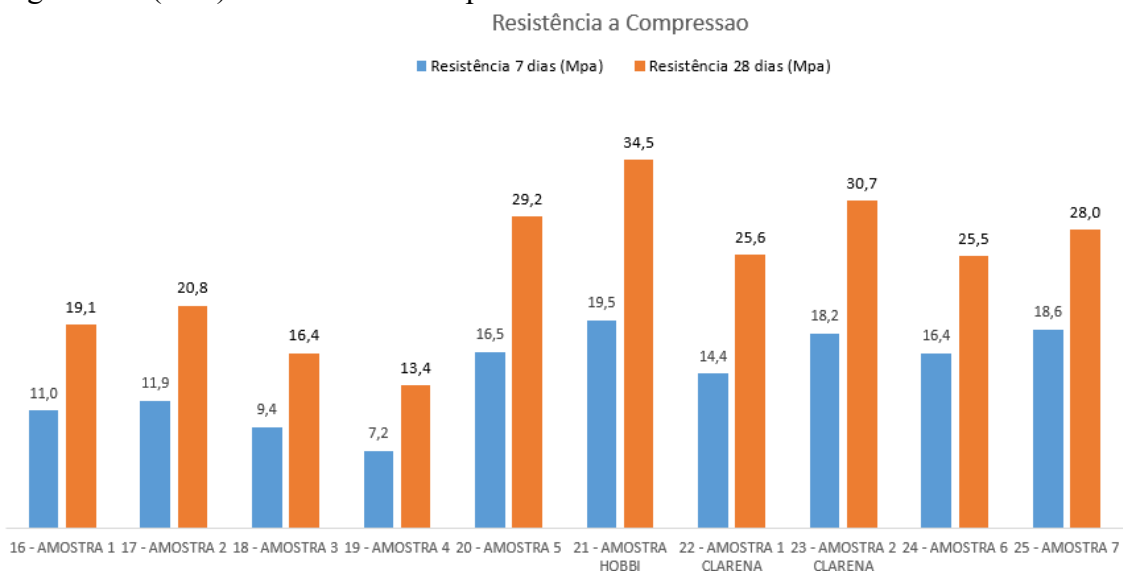
Tabela 55 - (A46) Composição do traço 24 (Areia de Ibema – amostra 6) abatimento 12 ± 2 cm, Britas 0 e 1: composição real levando em conta a água efetivamente empregada e a massa específica – indicadores de trabalhabilidade

Traço 24		Alfa vol= 52		% areia arenito= 40% do vol agrega miúdo		
	Kg	d (kg/dm ³)	Vol (dm ³)	massa p/ 20 l (kg)	Traço 24 final	Trabalhabilidade
Cimento Itambé CP IV	282	2,82	100	5,64	289	Água inicial (litros)
Areia Ibema amostra 6 - branca	331,0903	2,614	126,660412	6,62	339	171,1
Areia Britagem corte 2,4	562,3722	2,96	189,990618	11,25	576	Slump inicial (cm)
B0	384,7827	2,94	130,878458	7,70	394	22,0
B1	748,4814	2,95	253,722493	14,97	767	Slump apos perda (cm)
Água	175	1	175	3,629	186	6,5
Aditivo c/ mitig de argila Exp cr 4966	1,692	1,1	1,53818182	0,034	2	Água acrescida (litros)
Soma	2485,419		977,790163		2553,25	14,9
				A/C final	0,64	Slump final (cm)
						13,50

Tabela 56 - (A47) Composição do traço 25 (Areia de Ibema – amostra 7) abatimento 12±2cm, Britas 0 e 1: composição real levando em conta a água efetivamente empregada e a massa específica – indicadores de trabalhabilidade

Traço 25		Alfa vol= 52		% areia arenito= 40% do vol agrega miúdo		
	Kg	d (kg/dm3)	Vol (dm3)	massa p/ 20 l (kg)	Traço 25 final	Trabalhabilidade
Cimento Itambé CP IV	282	2,82	100	5,64	293	Água inicial (litros)
Areia Ibema amostra 7 - marrom	329,3171	2,6	126,660412	6,59	342	163,0
Areia Britagem corte 2,4	562,3722	2,96	189,990618	11,25	585	Slump inicial (cm)
B0	384,7827	2,94	130,878458	7,70	400	18,0
B1	748,4814	2,95	253,722493	14,97	778	Slump apos perda (cm)
Agua	175	1	175	3,415	178	7,5
Aditivo c/ mitig de argila Exp cr 4966	1,692	1,1	1,53818182	0,034	2	Água acrescida (litros)
Soma	2483,645		977,790163		2578,33	14,6
				A/C final	0,61	Slump final (cm)
						13,00

Figura 40 - (A26) Resistência à compressão dos concretos a 7 e 28 dias em concreto



ANEXO B: MÉTODO DE SELEÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE COMPOSIÇÃO DE AGREGADOS MIÚDOS

B1 PROCEDIMENTO PARA AVALIAÇÃO DE AGREGADOS E COMPOSIÇÕES

B1.1 Comparação entre agregados

Preferencialmente deve-se utilizar o cimento e o aditivo empregado na central para confecção das argamassas que devem possuir, como sugestão, o seguinte traço e quantidade de material:

Tabela 57 - (B3) Traço e quantidade dos materiais para estudos comparativos em argamassa

Material	Traço	Massa Seca (g)
Cimento	1,000	600,0
Areia	3,000	1800,0
Água	0,650	390,0
Aditivo Polifuncional	0,80%	4,800
H = 16,25%		

Aconselha-se utilizar o teor de aditivo comumente empregado na central, podendo em muitos casos ser diferente do recomendado. Caso a areia esteja úmida, deve-se fazer a correção da massa da mesma e também da quantidade de água a ser adicionada. Pode-se ainda realizar testes com relações água/cimento diferentes, no entanto deve-se manter a relação água/materiais secos (H) constante para que a mistura mantenha uma fluidez intermediária, facilitando a avaliação.

Para a produção das argamassas, utilizar misturador mecânico normalizado para ensaios de cimento, que possui duas velocidades de rotação da pá: baixa (140±5) rpm e alta (285±10) rpm; e duas velocidades de rotação do planetário: baixa (62±5) rpm e alta (125±10) rpm.

O procedimento de mistura a ser adotado deve ser o seguinte:

1. Colocar na cuba o cimento e 90% da água;
2. Misturar em velocidade baixa por 30 segundos;
3. Colocar a(s) areia(s), sem paralisar a operação de mistura, em 30 segundos;
4. Misturar em velocidade baixa por mais 30 segundos;

5. Desligar o misturador por 1 minuto: nos primeiros 30 segundos, retirar com o auxílio de uma espátula, a argamassa aderida às paredes da cuba e à pá e colocar no interior da cuba; no tempo restante, deixar a mistura em repouso, coberta com um pano úmido;
6. Colocar o aditivo e o restante da água e ligar o misturador em velocidade baixa, deixando misturar por 1 minuto.

Para comparação de agregados, sugere-se, terminada a mistura, medir a fluidez inicial e determinar o teor de ar incorporado, conforme ensaios apresentados anteriormente. Aconselha-se também moldar ao menos 2 corpos-de-prova 5x10cm para avaliação da resistência aos 28 dias.

Na definição da areia a ser utilizada deve ser levado em consideração além das propriedades medidas também o custo do material em volume de sólidos.

Quando forem comparadas areias de diferentes massas específicas, deve-se confeccionar as argamassas substituindo volumetricamente as areias. Para isso, deve-se fixar a massa de uma areia como sendo a de referência ($m_{\text{areia}_{\text{ref}}}$) e a(s) outra(s) deve(m) ter(em) sua(s) massa(s) corrigida(s) (m_{areia_x}) segundo a seguinte expressão:

$$m_{\text{areia}_x} = m_{\text{areia}_{\text{ref}}} \cdot \frac{d_{\text{areia}_x}}{d_{\text{areia}_{\text{ref}}}} \quad ; \quad \text{onde } d \text{ é a massa específica das areias.}$$

B1.2 Avaliação de composições de agregados

O procedimento para avaliação da composição de agregados é semelhante ao apresentado no item anterior. Deve-se utilizar o mesmo procedimento de mistura e devem ser realizados os mesmos ensaios. O cimento e o aditivo também devem ser, preferencialmente, os utilizados na central.

Para a avaliação da composição ideal para utilização em concreto, deve-se partir de 100% de uma das areias (areia 1 - pesar materiais conforme Tabela 3.1) e estudar substituições em volume de 25%, 50%, 75% e 100% por outra areia (areia 2). As proporções de cada areia devem ser calculadas conforme a seguir:

$$\text{Areia 1: } m_{\text{areia 1}} \text{ (g)} = \frac{1800 \cdot \text{Teor}_{\text{areia 1}}}{100}$$

$$\text{Areia 2: } m_{\text{areia 2}} \text{ (g)} = \frac{1800 \cdot (100 - \text{Teor}_{\text{areia 1}})}{100} \cdot \frac{d_{\text{areia 2}}}{d_{\text{areia 1}}}$$

onde: $\text{Teor}_{\text{areia 1}}$ é a proporção de areia 1 em volume;

$d_{\text{areia 1}}$ e $d_{\text{areia 2}}$ são as massas específicas da areia 1 e areia 2, respectivamente.

Com os valores de espalhamento (flow) e ar incorporado obtidos nos ensaios, construir curvas conforme as apresentadas nas Figuras 3.3 e 3.5. Pode-se ainda testar intervalos de proporções menores (10 em 10%, por exemplo) nos pontos próximos ao ótimo, refinando assim o estudo.

B2 PROCEDIMENTO PARA AVALIAÇÃO DE DIFERENTES ADITIVOS OU DIFERENTES TEORES

Deve-se utilizar o mesmo procedimento de mistura apresentado no item 3.7.1 e devem ser utilizados o cimento e os agregados empregados na central.

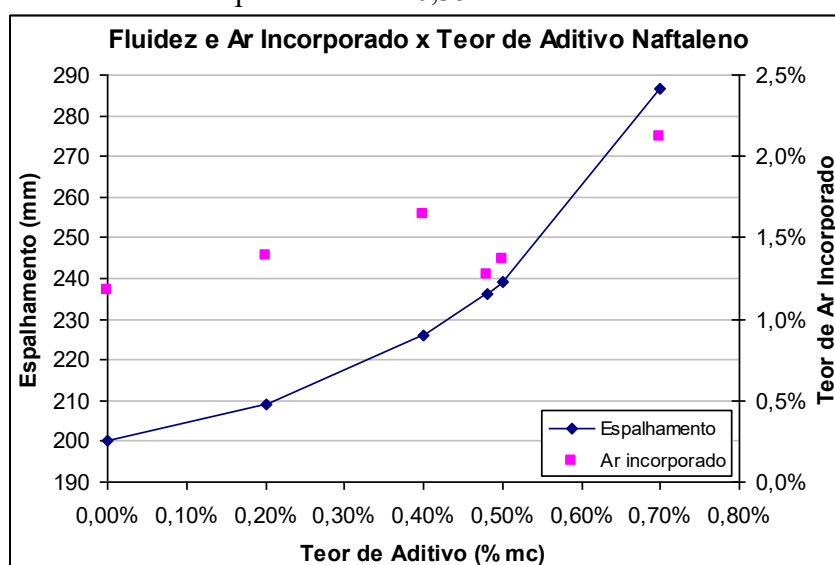
Pode-se utilizar a mesma quantidade de material apresentada na Tabela B1, salvo quando forem utilizados dois ou mais agregados miúdos na central. Nestes casos, pesar os agregados miúdos proporcionais à composição que vem sendo empregada até atingir massa semelhante a indicada na referida tabela.

Vale ressaltar que o procedimento de mistura das argamassas e a seqüência de ensaios devem ser mantidos constantes para todas as amostras avaliadas.

Para avaliação de aditivos e/ou teores, recomenda-se realizar os ensaios de fluidez inicial, teor de ar incorporado, tempo de pega e perda de fluidez. Podem ser moldados também corpos-de-prova para ensaios de resistência das misturas.

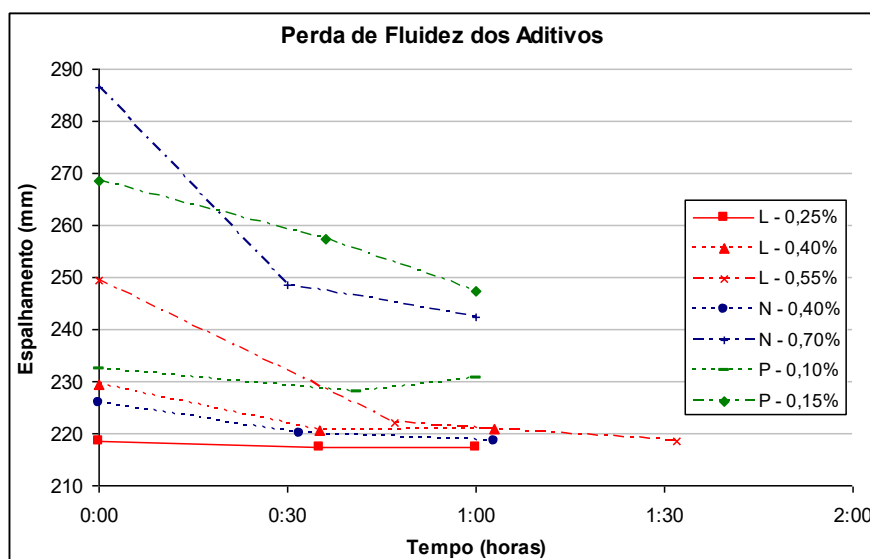
Para os ensaios de fluidez inicial e teor de ar incorporado, devem ser montados gráficos conforme o apresentado na Figura B1 para facilitar a avaliação dos resultados. Em alguns casos, no eixo das abscissas podem ser indicados os tipos e/ou dosagens de diferentes aditivos.

Figura 41 - (B1) Fluidez e teor de ar incorporado para diferentes teores de aditivo a base de naftaleno. Ensaios em pastas de $a/c=0,35$ confeccionadas com cimento CP IV-RS.



É importante salientar que para o CDC, por motivos já explanados, é muito importante a avaliação da perda de fluidez das misturas. Quando avaliados diferentes teores e tipos de aditivo, uma sugestão de apresentação dos resultados pode ser observada na Figura B2. Observa-se neste estudo, que quanto maior o teor de aditivo empregado, maior foi a fluidez inicial e também maior foi a perda, independente do aditivo avaliado. Neste estudo foram testados três aditivos, um a base de lignosulfonato (L), um a base de naftaleno sulfonato (N) e outro a base de policarboxilato (P). Os ensaios foram realizados em pasta de relação $a/c=0,35$ contendo cimento CP IV-RS.

Figura 42 - (B2) Fluidez inicial e perda de fluidez ao longo do tempo para diferentes aditivos e teores.



Quando avaliados diferentes aditivos e/ou teores, torna-se importante também a avaliação dos tempos de início de pega, principalmente quando estão envolvidos aditivos a base de lignosulfonato.